



Pro gradu -avhandling  
Meteorologi

KALLA ÅRSTIDENS ÅSKA OCH FLYGTRAFIK

Robert Mäkitie

23.04.2018

Handledare: Elena Saltikoff

Granskarna: Heikki Järvinen

HELSINGFORS UNIVERSITET  
INSTITUTIONEN FÖR FYSIK

PB 64 (Gustaf Hällströmin katu 2)  
00014 Helsingfors Universitet



HELSINGIN YLIOPISTO  
HELSINGFORS UNIVERSITET  
UNIVERSITY OF HELSINKI

MATEMAATTIS-LUONNONTIETEELLINEN TIEDEKUNTA  
MATEMATISK-NATURVETENSKAPLIGA FAKULTETEN  
FACULTY OF SCIENCE

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| Tiedekunta – Fakultet – Faculty<br><b>Matematisk-naturvetenskapliga fakulteten</b>  |  | Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree programme<br><b>Meteorologi</b> |  |
| Tekijä – Författare – Author<br><b>Robert Harri Edvard Mäkitie</b>  |  |   |  |
| Työn nimi – Arbetets titel – Title<br><b>KALLA ÅRSTIDENS ÅSKA OCH FLYGTRAFIK</b>  |  |   |  |
| Työn laji – Arbetets art – Level<br><b>Pro gradu -avhandling</b>  | Aika – Datum – Month and year<br><b>23.04.2018</b> | Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages<br><b>76</b>                          |  |
| Tiivistelmä – Referat – Abstract<br><p>Åska är ett välkänt fenomen. Med hjälp av CAPE (Convective Available Potential Energy) och jämviktsnivån (Equilibrium Level) är det möjligt att förutspå åska under varma perioder. Problemet är dock att åska ibland kan förekomma också under kalla perioder och då fungerar inte CAPE eller jämviktsnivån lika bra, vilket gör att kalla tiders åska oftast slår till överraskande. I min avhandling kom det fram att bymolnen inte utvecklar åska på samma sätt under varma och kalla perioder. Detta har också konstaterats i andra studier. Detta gör att man måste undersöka kalla tiders åska från en annan synvinkel än varma tiders åska, som följer den välkända teorin. Ibland kan bymolnen bli väldigt svaga och låga under kalla perioder. I sådana fall tror man att ett nära flygande flygplan brukar orsaka det elektriska utbrottet.</p> <p>Med hjälp av radar kan man märka att det finns risk för kalla tiders åska genom att undersöka snöhagel mängden i bymolnet. Problemet är att radarn inte berättar varför något av bymolnen kommer att åska eller om det kommer att åska överhuvudtaget. I alla fall har några länder skapat en algoritm för kalla tiders åska. Algoritmerna tar inte hänsyn till CAPE eller jämviktsnivån, utan algoritmerna undersöker temperaturen på en viss höjd i atmosfären, frysningsnivåns höjd och nederbördens intensitet. KNMI:s (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) algoritm passar bäst med mina tre fall. Den största orsaken till varför det förekommer kalla tiders åska i Nederländerna och i andra studier är kall advektion, som också förekommer i mina fall. Det ser ut som att det i framtiden kan finnas ett sätt att förutspå kalla tiders åska i Finland.</p> |  |   |  |
| Avainsanat – Nyckelord – Keywords<br><b>Kalla årstidens åska, åska, flygväder, väder, meteorologi, Meteorologiska institutet, fysik</b>   |  |   |  |
| Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited  |  |   |  |
| Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information   |  |   |  |

# Innehållsförteckning

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Innehållsförteckning</b>                                       | <b>2</b>  |
| <b>1. Introduktion</b>  | <b>3</b>  |
| <b>2. Bakgrund och teori om åska</b>                              | <b>5</b>  |
| 2.1 Djup konvektion   | 5         |
| 2.2 Blixtslag   | 10        |
| 2.3 Sjösnöeffekt  | 11        |
| 2.4 Modeller inom flygvädersservicet på Meteorologiska institutet | 12        |
| 2.5 Andra forskningar   | 13        |
| <b>3. Flygvädersservicen</b>                                      | <b>17</b> |
| 3.1 Blixträff i flygplan  | 17        |
| 3.2 Åska inom flygservicen  | 19        |
| 3.2.1 Terminal Aerodrome Forecast, TAF                            | 20        |
| 3.2.2 Significant Weather Chart, SWC                              | 22        |
| 3.2.3 EFHK WXWRNG   | 23        |
| 3.2.4 Significant Meteorological Information, SIGMET              | 23        |
| 3.2.5 Airport Forecast  | 24        |
| <b>4. Material</b>  | <b>26</b> |
| <b>5. Fallstudier</b>   | <b>30</b> |
| 5.1 Fall 1: Den tredje januari 2017                               | 30        |
| 5.1.1 Synoptisk situation   | 30        |
| 5.1.2 Flygvädersservicen  | 36        |
| 5.2 Fall 2: Den 23 april 2016                                     | 37        |
| 5.2.1 Synoptisk situation   | 38        |
| 5.2.2 Flygvädersservicen  | 43        |
| 5.3 Fall 3: Den första maj 2014                                   | 45        |
| 5.3.1 Synoptisk situation   | 45        |
| 5.3.2 Flygvädersservicen  | 50        |
| <b>6. Diskussion</b>  | <b>52</b> |
| <b>7. Slutsats</b>  | <b>60</b> |
| <b>8. Referencer</b>  | <b>62</b> |
| <b>TACK</b>   | <b>65</b> |
| <b>Bilagor</b>  | <b>65</b> |

# 1. Introduktion

Åska är ett vanligt och välkänt väderfenomen som förekommer runt om i världen, men även så kan åskan utsätta människor i livsfara, till exempel när blixten slår till i ett flygplan. Dagens flygplan är väl konstruerade och skyddade från en blixtrträff, men blixten utsätter ändå människorna i fara och skapar allt för stor kostnader för flygbolaget (Mäkelä m.fl., 2013).

Kalla tiders åska är farligt, eftersom åskan är väldigt svår att förutspå och den kan slå till överraskande. Under varma perioder är det lättare att förutspå åska, eftersom teorin gällande djup konvektion är välkänd och anpassad för varma perioder. Under varma perioder används storheten CAPE (Convective Available Potential Energy) för att berätta hurdan konvektion det är i frågan (Blanchard, 1998). I olika forskning har det kommit fram att CAPE inte fungerar lika bra under kalla tider, eftersom oftast då åskan förekommer är CAPE-värdet väldigt lågt (Mäkelä m.fl., 2013). Ett annat sätt att förutspå åska under varma perioder är att använda sig av jämviktsnivån (Equilibrium Level), med andra ord bymolnets topp (Bright m.fl., 2005). Det är mera som en tumregel som berättar hur stor möjlighet det är att ett bymoln kan åska (Hirvonen, 2017). Detta betyder att man måste undersöka kalla tiders åska från en annan synvinkel. På grund av att kalla tiders åska sker så sällan, så kan man oftast inte få tillräckligt med bra observationer vilket gör att teorin bakom kalla tiders åska ännu är okänt (Schultz & Vavrek, 2009).

Många länder som till exempel USA, Kanada, Norge, Finland och Japan, blir varje år utsatta för kalla tiders åska. Alla dessa länder har försökt forska närmare inom ämnet (Schultz & Vavrek, 2009). Målet har varit att förstå när och varför åskan förekommer och hur kan man förutspå de enstaka blixtslagen. Detta skulle också möjligen minska på blixtrträffar i flygplan som förekommer ibland vid sidan av kalla perioders åska. Detta skulle inte sätta människor i fara och minska på kostnaderna för flygbolaget (Wilkinson m.fl., 2013). Det finns två orsaker som gör kalla tiders åska till ett intressant ämne; 1. att förutspå fenomenet är väldigt svår och alla metoder är baserade mera på varma perioder, 2. kalla tiders åska slår alltid till överraskande och förekommer sällan (Mäkelä m.fl., 2013).

I denna avhandling kommer jag att undersöka tre olika fall som skedde vid Helsingfors-Vanda flygfält och är relaterade till blixtrträffar i enstaka flygplan. Datumen för mina fall är den första maj 2014, den 23 april 2016 och den tredje januari 2017. I varje fall förekom det minst en blixtrträff i ett flygplan. Min avhandling kommer att svara på frågan: *Kan man med hjälp av modellerna och observationer förbättra informationen om åskan under den kalla perioden nära Helsingfors-Vanda flygfält?*

I alla mina tre fall analyserar jag det synoptiska tillståndet och tillståndet i atmosfären. Jag analyserar varje fall också från ett flygväderperspektiv och undersöker hurdan prognoser det gjordes. I min avhandling sammanfattar jag också några andra forskningar från andra länder och jämför dem med mina fall och mina resultat, för att se om det finns stora skillnader mellan resultaten.

Min avhandling är uppbyggd på följande sätt, kapitel 2. *Bakgrund och teori om åska* handlar om teorin bakom djup konvektion, hur en blixtr uppstår och vad för resultat andra forskare har kommit fram till. Kapitel 3. *Flygvädersservicen* handlar om vad som gör åskan så farlig för flygplan och hur informationen anmäls inom flygvädersservicen på basen av ICAO Annex 3. Kapitel 4. *Material* handlar om materialet jag har använt till min avhandling och varifrån det är hämtat samt olika felmarginal som möjligen kan påverka resultaten i observationerna. Kapitel 5. *Fallstudier* handlar om mina tre fall, kapitel 6. *Diskussion* handlar om mina tankar om mina fall och mina resultat och kapitel 7. *Slutsats* handlar om svaret på min avhandlings fråga.

I mina avhandling är alla enheter enligt SI-systemet förutom flyghöjden, eftersom flyghöjden anges i fot inom flygvädret och enheten används globalt runt om i världen. En del av mina använda prognoser är med enheten fot, istället för meter, eftersom prognoserna är riktade för flygvädersservicet. En meter är ungefär 3,3 fot. Inom flygvädret använder man sig också av flygnivå (FL, flight level), då man talar om höjder som är högre än 5000 fot (ungefär 1500 meter). FL050 betyder 5000 fot och FL100 respektive 10 000 fot.

## 2. Bakgrund och teori om åska

### 2.1 Djup konvektion

Det krävs specifika tillstånd i atmosfären för att åska skall kunna utvecklas. De här tillstånden förekommer oftast under varma perioder till exempel i Finland vilket gör att det förekommer åska oftast under varma perioder. Åska kan också förekomma under kalla perioder i Finland, dock inte lika ofta (Mäkelä m.fl., 2013). Den viktigaste egenskapen för att åska skall kunna förekomma är kraftig konvektion i atmosfären, med andra ord djup konvektion. Djup konvektion betyder att det uppkommer uppvindar som bildar mäktiga bymoln (cumulonimbus moln), med stor vertikal utsträckning som kan nå ända till tropopausen på somrarna, alltså 6-10 kilometers höjd (SMHI, 2017). För att djup konvektion skall bildas måste det finnas fukt och relativt med värme i gränsskiktet vilket sedan gör att temperaturförändringen är större mellan gränsskiktet och troposfären. Det är viktigt att värme och fuktighet förekommer samtidigt, eftersom om ena tillståndet fattas så finns det ingen möjlighet till konvektion (Schultz & Vavrek, 2009). Några tillstånd som möjligen kan ge upphov till sådant är att marknivån värmas upp av solen eller när kyligare luft strömmar över ett varmare underlag (SMHI, 2017). Båda tillstånden förekommer oftast på sommaren, men på vintern är det sjösnöeffekten som oftast orsakar konvektion, när kall advektion rör sig över ett varmt och ofryst vattenområde (Mäkelä m.fl., 2013). Mera om teorin för sjösnöeffekten nämns i kapitel 2.3 *Sjösnöeffekt*.

Uppvindarna eller så kallat lyfte i konvektionen bildas då temperaturprofilen i troposfären är instabil, med andra ord när temperaturen sjunker snabbare med höjden än cirka  $6^{\circ}\text{C}/\text{km}$  (Schultz & Vavrek, 2009). Uppvindarnas kan ha hastigheten 20-30 m/s i ett bymoln (SMHI, 2017). I ett bymoln måste temperaturprofilen vara instabil ända upp till höjden där temperaturen är minst  $-20^{\circ}\text{C}$  för att det skall uppstå laddning i molnet, eftersom området som befinner sig mellan  $-20^{\circ}\text{C}$  och  $0^{\circ}\text{C}$  kallas för blandfas, är en viktigt ingrediens till blixstens utveckling (Bright m.fl., 2005). Det räcker inte att enbart blandfas området förekommer i bymolnet utan det måste förekomma uppvindar i blandfasen så

att en laddningen kan skapas (Kumjian & Deierling, 2015). Mera om blixstens utvecklingen nämns i kapitel 2.2 *Blixtslag*.

CAPE (Convective Available Potential Energy) är en storhet som berättar hur mycket energi det finns i atmosfären som går att överföra till konvektion. Med andra ord berättar CAPE om det finns möjlighet för kraftiga uppvindar (Blanchard, 1998). CAPE baserar sig på atmosfärens vertikala temperaturprofil och fuktighet och används som en storhet för att förutspå konvektion och åska (Mäkelä m.fl., 2013). CAPE-värdet räknas mellan två nivåer (Formel 1), nivån för fri konvektion (Level of Free Convection) och jämviktsnivån (Equilibrium Level). Nivån för fri konvektion är nivån där konvektionen utan hjälp börjar stiga uppåt och hittas från temperaturprofilen där omgivningens temperaturen sjunker snabbare med höjden än den fuktadiabatiska avkylningen (Bild 2.1). Jämviktsnivån är den omvända nivån till nivån för fri konvektion. Nivån befinner sig högre upp i troposfären där omgivningens temperatur sjunker långsammare med höjden än den fuktadiabatiska avkylningen (Bild 2.1). Normalt klassas de här två nivåerna som bymolnets botten och topp. Från *Formel 1* kan man se vad CAPE består av, alltså endast av omgivningens och luftpaketets virtuella temperatur mellan nivån för fri konvektion och jämviktsnivån (Blanchard, 1998). När CAPE får ett högt värde brukar det oftast indikera på kraftig eller farlig konvektion (Punkka, 2009). I Finland är det beräknat att CAPE är skall vara kring 100 J/kg för att åska ska förekomma och om CAPE-värdet blir under 100 J/kg så minskar också risken för åska. Det är beräknat att när CAPE är närmare 2000 J/kg i Finland så närmar det sig farlig konvektion, eller rättare sagt en storm (Punkka, 2009).

$$CAPE = \int_{z_{LFC}}^{z_{EL}} g \left( \frac{T_{vp} - T_{vo}}{T_{vo}} \right) dz \quad (1)$$

Formel 1: Formeln för CAPE (Convective Available Potential Energy), där man integrerar den virtuella temperaturen av paketet ( $T_{vp}$ ) och den virtuella temperaturen av omgivningen ( $T_{vo}$ ) mellan nivån för fri konvektion (Level of Free Convection) och jämviktsnivån (Equilibrium Level) (Blanchard, 1998).  $g$  är tyngdaccelerationen.

Det är också viktigt att veta vad CIN (Convective Inhibition) och LI (Lifted Index) är när man talar om CAPE (Blanchard, 1998). CIN är ett värde som indikerar hur mycket energi det finns i atmosfären som vill hindra luftmassan från att börja stiga från nivån för fri konvektion och bilda konvektion (Blanchard, 1998). Med andra ord fungerar CIN som en "propp" för konvektionens utveckling. Formeln för CIN-värdet ser exakt likadan ut som formel för CAPE (Formel 1), men man integrerar mellan markytan och nivån för fri

konvektion istället (Blanchard, 1998). LI-indexet är ett värde som baserar sig på temperaturskillnaden mellan omgivningen och den fuktadiabatiska avkylningen. LI-värdet berättar om temperaturprofilen är stabil. Om värdet är positivt betyder det att temperaturprofilen är stabil medan negativt värde tyder att profilen är instabil. Ju större värdet är desto stabilare är profilen. (Blanchard, 1998). För att få en bättre uppfattning om var alla nivåer och termer befinner sig se *Bild 2.1*.

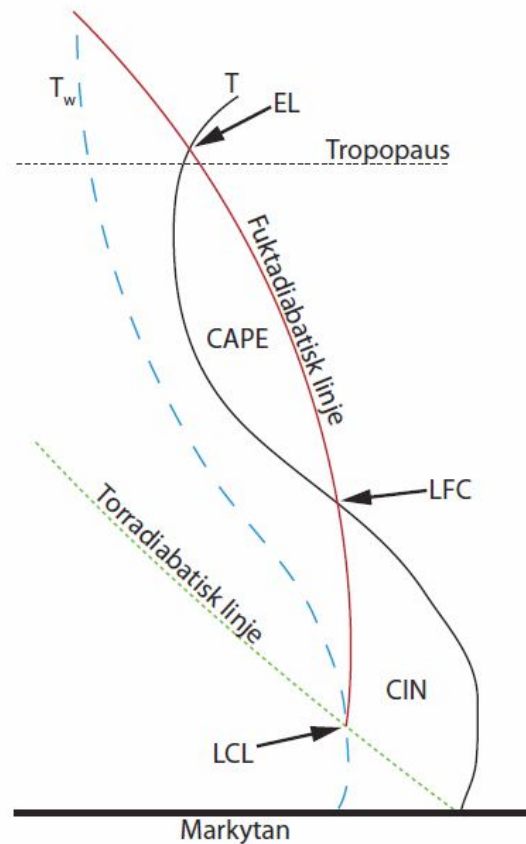


Bild 2.1: En ritning på hur temperaturprofilen i atmosfären kan se ut och var varje nivå befinner sig. Den svarta linjen är omgivningens temperatur och den blåa streckade linjen är daggpunkten i atmosfären. Nivån för fri konvektion (Level of Free Convection) är nivån där omgivningens temperatur sjunker snabbare med höjden än fuktadiabatiska avkylningen. Jämviktsnivån (Equilibrium Level) är nivån där omgivningens temperatur sjunker långsammare med höjden än fuktadiabatiska avkylningen. LCL (Lifted Condensation Level) är nivån varifrån den stigande fuktiga luften börjar kondensera sig till molndroppar (Blanchard, 1998).

Det som CAPE-formeln (Formel 1) inte tar i beaktande är vindskjuvning, som är väldigt viktigt när det gäller konvektion. Konvektion kan ske utan vindskjuvning, men vindskjuvningen hjälper till med konvektion utveckling. Vindskjuvningen berättar mera hurdan karakter konvektion har. Med andra ord fungerar vindskjuvningen som en förstärkning för konvektionens utveckling och gör att CAPE-värdet inte ensamt beskriver lika bra hurdan konvektion det är i frågan (Punkka, 2009). Till exempel om



CAPE-värdet är ungefär 100 J/kg, men det förekommer måttlig vindskjuvning i troposfären kan åska bli större och farligare än vad CAPE-värdet ensamt tyder på (Punkka, 2009). Detta bevisar att inget ensamt index kan berätta om atmosfärens tillstånd. För att få en tydligare uppfattning om konvektionen måste man också undersöka andra index och det synoptiska tillståndet (Blanchard, 1998).

Teorin bakom åska under varma perioder är välkänd, men samma teori fungerar dåligt på vintern. För att bättre förstå skillnaden mellan en åskhändelse på sommaren och en på vintern, måste man jämföra atmosfärens tillstånd mellan varandra. I *Tabell 2.1* finns det värden från två olika åskhändelser, en på sommaren den fjärde augusti 2017 och andra från vintern den tredje januari 2017.

I *Tabell 2.1* kan man se att två parametrar har helt olika värden, ena är CAPE-värdet och andra är LI-värdet. Båda värdena kommer från sonderingen i Jockis. I Finland borde CAPE vara kring 100 J/kg för att det skall förekomma åska (Punkka, 2009) och om man jämför med den fjärde augusti 2017 så var CAPE 249,97 J/kg vilket tyder på att teorin stämmer. När man efteråt jämför med den tredje januari 2017 så var CAPE-värdet bara 0,7 J/kg. CAPE-värdet indikerar på att det inte skulle förekomma någon konvektion. LI-värdet på sommaren var -1,35 och på vintern 11,26. Detta betyder att temperaturprofilen var stabil på vintern och därmed motstrider mot teorin om konvektionens utveckling. Däremot förekommer det vindskjuvning den tredje januari som troligen hade en stor effekt på konvektionen även om CAPE-värdet blev väldigt lågt (Punkka, 2009). En viktig sak att ha i baktanken är att blixterna förekom nära Helsingfors-Vanda flygfält medan sonderingen är från Jockis, som ligger ungefär 100 kilometer västerut från flygfältet. Detta betyder att profilen och värdena nära jordytan kan växla stort mellan båda platserna.

Med allt detta i baktankarna måste man forska kalla perioders åska från en annan synvinkel och ta i beaktande tillstånd och händelser som förekommer oftare kring kalla perioder än under varma perioder. Detta betyder att man måste använda sig av "*vinter glasögon*" för att bättre kunna förstå vad som skiljer kalla perioders åska från varma perioders åska.

|  | 4 augusti 2017 21:05 UTC                                     | 3 januari 2017 22:35 UTC   |
|--|--|--|
| <b>Sonderingen från Jockis</b>                           | 5 aug 00Z  | 04 jan 00Z   |
| P <sub>s</sub> (hPa)                                     | 983  | 983  |
| Vind <sub>s</sub> [riktning (°)/styrka (m/s)]            | 185/3.1  | 100/8.2  |
| Vind <sub>850</sub> [riktning (°)/styrka (m/s)]          | 240/10.8   | 135/8.7  |
| Vind <sub>700</sub> [riktning (°)/styrka (m/s)]          | 240/7.2  | 050/7.7  |
| T <sub>s</sub> (°C)                                      | 14.6   | -6.3   |
| T <sub>700</sub> (°C)                                    | -2.5   | -21.7  |
| T <sub>500</sub> (°C)                                    | -18.7  | -37.3  |
| Delta T <sub>700-500</sub> (°C)                          | 16.2   | 15.6   |
| Delta T <sub>s-700</sub> (°C)                            | 17.1   | 15.4   |
| CIN (J/kg)   | -20.05   | 0  |
| CAPE (J/kg)  | 249.97   | 0.70   |
| EL (hPa)   | 334.59   | 908.8  |
| LCL (hPa)  | 927.62   | 947.1  |
| LI   | -1.35  | 11.26  |
| Relativ fuktighet (%)                                    | 97   | 95   |
| <b>METAR-observation från Helsingfors-Vanda flygfält</b> | 042150Z 18009KT 8000 SHRA SCT007 BKN010 SCT020CB 16/15 Q0997 | 032220Z 09010KT 0800 R04R/1300D R15/P1500D R22L/P1500D R04L/1000V1500D +SN VV005 M05/M06 Q0996 |
| T <sub>s</sub> (°C)                                      | 16   | -5   |
| T <sub>d</sub> (°C)                                      | 15   | -6   |
| P (hPa)  | 997  | 996  |
| Vind [direktion (°)/styrka (m/s)]                        | 180/4.6  | 090/5.1  |
| <b>Observerade blixtnära Helsingfors-Vanda flygfält</b>  |  |  |
| Markblixtnära/Molnblixtnära (st)                         | 1/1  | 1/1  |
| <b>Radardata nära Helsingfors-Vanda flygfält</b>         |  |  |
| Största eko (dBZ)  | 50-60  | Kring 40   |
| Snöhagel eko (Ja/Nej)                                    | Ja   | Ja   |
| Höjd på cumulonimbus molnet (meter/fot)                  | 8000 / 26 200  | 3000 / 9800  |

Tabell 2.1: Värderna från två olika åskhändelser. En är den 4 augusti 2017 och den andra är den 3 januari 2017. Datat är hämtat från Meteorologiska institutets egna arkiv (<http://avidb.fmi.fi>, <http://radar.fmi.fi>, <http://lightning.fmi.fi>), och från Wyomings universitets egna hemsida ([www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html](http://www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html)).

## 2.2 Blixtslag

För att en blixst ska utvecklas krävs det att det sker djup konvektion (Schultz & Vavrek, 2009). Det betyder med andra ord att om man kan se ett mäktigt bymoln (cumulonimbus moln) så växer chansen för åska (SMHI, 2017). Det är viktigt att veta att alla mäktiga bymoln inte åskar, eftersom det i molnet måste finnas specifika egenskaper för att en blixst skall kunna skapas (Schultz & Vavrek, 2009). En av de viktigaste egenskaperna som måste förekomma för att en blixst ska kunna utvecklas i ett bymoln är uppvindar. Det skall även finnas ett temperaturområde mellan 0°C och -20°C och denna fas kallas för blandfas. I en blandfas förekommer det ispartiklar och nedkyllt vatten i vätskeform. Det nedkylda vattnet fryser fast i ispartiklar inne i molnet och bildar hagel (Schultz & Vavrek, 2009). Uppvindarna gör att det bildas turbulens inne i molnet som sedan gör att ispartiklarna och hagelstenarna kolliderar med varandra (Kumjian & Deierling, 2015). Kollisionen orsakar att hagelstenarna och ispartiklarna byter laddning sinsemellan, alltså ändrar från en neutral laddad partikel till en laddad partikel. De lätta ispartiklarna får en positiv laddning medan hagelstenarna får en negativ laddning (Schultz & Vavrek, 2009). Eftersom ispartiklarna är mycket lättare än hagelstenarna så transporteras ispartiklarna med uppvindarna upp till bymolnets övre del, ovanför höjden var temperaturen är -20°C (Bright m.fl., 2005). Hagelstenarna är tyngre vilket gör att de faller ner till bymolnets nedre kant. Detta gör att det uppstår en spänning i bymolnet på basen av hagelstenarnas och ispartiklarnas positioner. Med andra ord blir molnet polariserat (Schultz & Vavrek, 2009). Molnet är positivt laddad i molnets övre del medan den är negativt laddad i molnets nedre del. Det tar ungefär 15-20 minuter på att spänningen mellan botten och toppen blir tillräckligt stor för att den första blixten skall utvecklas (Tuomi & Mäkelä, 2009). När spänningen har vuxit tillräckligt stor sker det ett elektriskt utbrott, alltså en blixst, som varar bara en tiondels sekund. Själva blixten är en hög elektrisk ström på ungefär 20 000 ampere (Rash, 2010).

Det finns två olika sorters blixstar, sådana som bara blixtrar inne i molnet (molnblixst) och sådana som når ända ner till markytan (markblixst) (Rash, 2010). De första blixterna brukar vara molnblixstar som sedan utvecklas till markblixstar när spänningen växer i molnet, eftersom molnblixstarna utvecklas mycket lättare än de mycket kraftigare markblixstar (Tuomi & Mäkelä, 2009). Själva spänningen mellan

laddningarna behöver inte alltid vara orsaken till att det blixtrar, utan spänningen kan få hjälp av ett utomstående föremål som befinner sig i närheten, för att kunna göra ett elektriskt utbrott. Detta kan vara ett landande eller avgående flygplan eller en hög antennmast, som till exempel Stenviks mast i Esbo (Mäkelä m.fl., 2013).

En stor skillnad mellan bymolnen under kalla perioder och varmare perioder är att molnens höjd inte är samma, utan på sommaren är molnen högre än på vintern. Själva höjden har inget med själva teorin att göra, utan teorin är mera relevant gällande temperaturen i molnet (Schultz & Vavrek, 2009). Detta gör att molnen inte behöver stiga till samma höjd på vintern som på sommaren för att nå passlig temperatur för att det ska kunna åska. Problemet är att bymolnen brukar växa till mäktiga höjder under varma perioder vilket gör att det är lättare att känna till molnet och lättare att förutspå om det kommer att blixtra (SMHI, 2017), förutsatt att molnen inte är täckt in i andra moln. I studier har det kommit fram att under kalla perioder är bymolnen låga vilket gör bymolnen farliga (Hemink m.fl., 2007), eftersom det är väldigt svårt att veta vilket bymoln som kan överraskande ge upphov till en blixst (Mäkelä m.fl., 2013).

## 2.3 Sjösnöeffekt

Sjösnöeffekten är en effekt som förekommer under kalla perioder och baserar sig på att kall luftmassa advekerar sig över ett varmt vatten område (Markowski & Richardson, 2010). Av detta uppstår det konvektion som sedan skapar måttliga snöbyar över motsatta strand. För att sjösnöeffekten skall kunna uppstå krävs det ett par specifika tillstånd. Kraven är att vindriktningen måste vara så att kyligare luft tar sig över det ofrysta varma vattenområdet. Om vattenområdet är fryst hindrar det konvektionens bildande eftersom det finns inte tillräckligt värme eller fukt för konvektionen (Markowski & Richardson, 2010). Vid Helsingfors krävs det att vinden är snett mot flygfältet från sydost eller sydväst och inte rakt från söder, eftersom vinden måste rör sig en viss distans vatten området (Finska viken) för att ha möjlighet att kunna samla fukt (Mäkelä m.fl. 2013). Det är räknat som tumregel att distansen måste vara minst 75 kilometer lång, vilket gör att alla sjöar eller havskanaler inte kan skapa sjösnöeffekten (Markowski & Richardson, 2010). Denna distans kallas för blåsträcka (Saltikoff, 2018).

Ett annat krav är att det måste förekomma en tillräckligt stor temperaturskillnad mellan havsytan och 850 hPa höjd. Som tumregel används 13°C skillnad som minimikrav, för att konvektion skall uppstå (Markowski & Richardson, 2010). Temperaturskillnaden är korrelerad med instabiliteten, om temperaturskillnaden är större än 13°C så blir temperaturprofilen instabilare, vilket sedan leder till kraftigare konvektion. Om tillstånden låter kan sjösnöeffekten vara länge och skapa stor snöfallsmängd på andra sidan av stranden. Bymolnen som uppstår i sjösnöeffekten kan även ge upphov till kalla tidens åska (Markowski & Richardson, 2010).

## 2.4 Modeller inom flygvädersservicet på Meteorologiska institutet

Den dejourerande meteorologen på flygväderavdelningen på Meteorologiska institutet använder sig normalt av tre olika vädermodeller (Hirvonen, 2017). En av dem är HIRLAM som är en begränsad modell över norra Europa. HIRLAM:s rutnätstorlek är 7,5 kilometer och innehåller 65 vertikala nivåer. En annan modell heter MEPS som togs i bruk år 2017, alltså en begränsad ensemble modell med en rutnätstorlek på 2,5 kilometer och 65 vertikala nivåer. Ytterligare används en global modell av ECMWF med rutnätstorlek på 9 kilometer och 137 vertikala nivåer (Hirvonen, 2017).

För de här modellerna har man skapat några åskindikatorer som baserar sig på olika parametervärden (Ylläsjarvi, 2017). En av indikatorerna baserar sig på temperaturskillnaden mellan bymolnets topptemperatur ( $< 20^{\circ}\text{C}$ ) och bottentemperatur ( $> 0^{\circ}\text{C}$ ) och använder sig ytterligare av CIN-värdet. Om det finns en stor temperaturskillnad mellan bymolnets topp och botten får åskindikatorn ett större värde, men om CIN är större 100 J/kg så blir sannolikheten för åska inte högre än 50 %, men oftast är värdet i åskindikatorn närmare noll. En annan åskindikator använder sig också av temperaturskillnaden mellan bymolnets topptemperatur ( $< 25^{\circ}\text{C}$ ) och bottentemperatur ( $> 0^{\circ}\text{C}$ ) och av konvektions regn som måste minst vara 0,5 mm/h på området. Den tredje åskindikatorn som är i användning, använder sig av instabiliteten, fuktigheten och lyfte, som hör till konvektionens teori och indikatorn ger alltid värdet noll om ett av parametrarna fattas eller har värdet noll (Ylläsjarvi, 2017).

## 2.5 Andra forskningar

Åska under kalla tider är inte endast ett problem i Finland utan också på andra håll runt om i världen. Många länder som påverkas av kalla luftmassor, rättare sagt polar luftmassa eller arktisk luftmassa, har forskat inom kalla tiders åska, som till exempel Nederländerna, USA och Storbritannien (Schultz & Vavrek, 2009). Detta kapitel kommer att handla kort om andra forskningar och hurdan resultat studierna kom fram till gällande åska under kalla perioder.

I Nederländerna gjorde Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (KNMI) en forskning kring Amsterdam-Schiphol flygfält, gällande kalla perioders åska (Hemink m.fl., 2007). KNMI börja med att forska kalla perioders åskhändelser mellan oktober och april mellan åren 1997 till 2006, varifrån de märkte att 40 % av fallen var relaterat med en blixträff i ett flygplan. KNMI analyserade först atmosfären och det synoptiska tillståndet för att bättre förstå vad som möjligen orsakar kalla tiders åska. De använde sig av likadan data som jag har använt i mina fallstudier och ytterligare hade de 700 hPa vindkarta till hjälp. Det som KNMI märkte var att nivån för fri konvektion i alla fallen var varmare  $-10^{\circ}\text{C}$ , alltså nivån där konvektionen börjar. De märkte också att jämviktsnivån inte nådde i alla händelser till  $-20^{\circ}\text{C}$ , vilket det brukar ske på sommaren då det åskar. Detta gör att KNMI tror mer och mer på att flygplan spelar en större roll i låga bymoln och fungerar som en utomstående ledare till att skapa ett elektriskt utbrott (Hemink m.fl., 2007). Från deras radarbilder märkte de också att bymoln som gav upphov till åska hade ett eko på minst 30 dBZ (decibel relativt till Z). Genom att analysera det synoptiska tillståndet märkte KNMI att då kalla tiders åska normalt förekom, var vindriktningen från nordväst, alltså det blåste från havet in mot landet (Hemink m.fl., 2007). Detta betyder att den kalla vinden från norr tar sig över varma Nordsjön, vilket sedan gör att det bildas bymoln över Nordsjön som transporterar sig över Nederländerna. Med andra ord bildas det en liknande effekt som sjösnöeffekt över den Nederländska kusten.

KNMI skapade ett varningssystem AIL (Aircraft Induced Lightning) där de fyllde i risken för att det kan uppstå ett elektriskt utbrott när ett flygplan håller på att stiga eller landa (Hemink m.fl., 2007). KNMI skapade också en algoritm på basen av deras gamla händelser från 1997 till 2006, för att förutspå kalla tiders åska. Algoritmen krävde tre

tillstånd i atmosfären så att den skulle kunna visa risk för kalla tiders åska. Kraven var att frysningsnivån skulle befinna sig på minst 3000 fots höjd och vindriktningen skulle vara från nordväst och temperaturen på 700 hPa höjd skulle vara minst  $-10^{\circ}\text{C}$  (Hemink m.fl., 2007). Vindriktningen och temperaturen indikerar på att det skulle ske en kall advektion från nordväst in mot landet. KNMI prövade algoritmen med AIL-systemet varav det förekom nordvästlig vind 45 dagar av 82 dagar. Av de här 48 dagarna förekom det 19 dagar med åska. Det förekom 6 dagar åska då det inte förekom nordvästlig vind. Som slutresultat visa det sig att 68 % av åskfallen var förutspådda med hjälp av deras metoder (Hemink m.fl., 2007).

De nordliga vindarna som hämtar med sig fuktig och kylig luft över Nederländerna har också skapat problem i Storbritannien med kalla perioders åska (Wilkinson m.fl., 2013). Storbritannien har också forskat gällande kalla tiders åska, eftersom deras helikoptrar blir träffade av blixten när de flyger över Nordsjön. Orsaken till varför helikoptrar blir träffade av blixten är på grund av att helikopterns flyghöjd är nästan samma höjd som ett flygplan har när den landar eller stiger. En helikopter fungerar likadant som ett flygplan, alltså som en negativ laddad ledare, och kan därför ge upphov till blixtrar. Meteorologiska institutet i Storbritannien, Met Office, har märkt att den största risken för kalla tiders åska samt blixtrträff i en helikopter är då det också förekommer en kylig eller kall vind från norr, alltså med andra ord det sker en kall advektion från norr (Wilkinson m.fl., 2013). På basen av deras forskning har Met Office också skapat en algoritm som hjälper dem att räkna ut när ett bymoln troligen innehåller en laddning i sig och kan ge upphov till en blixt när ett flygplan eller en helikopter flyger på nära håll. Algoritmen baserar sig på tre kriterier som förekom i alla deras fall från oktober till mars mellan åren 1991 och 2010. Kriterierna var att frysningsnivån skall befinna sig mellan 1000 och 4500 fots höjd, medeltemperaturen på 2000 och 3000 fots höjd skall vara mellan  $-6^{\circ}\text{C}$  och  $-1^{\circ}\text{C}$  och att nederbördens intensitet skall vara minst fyra mm/h på området (Wilkinson m.fl., 2013).

Under Met Office:s testperiod förekom det totalt 47 riskdagar av 142 dagar. Av de 47 dagar förekom det 8 blixtrträffar, som gör att 39 dagar var blixtfria. Problemet är dock det att man inte vet om andelen blixtfria dagar (39 av 47 dagar) innehöll en risk för åska eller producerade modellen ett falskt värde (Wilkinson m.fl., 2013). I alla fall så avbokade ett par helikoptrar sina flygturer på grund av risken, men det är ändå svårt att

veta om algoritmen fungerade bra, när det inte finns tillgång till observationer som skulle berätta om tillståndet. Största delen av blixtslagen över Nordsjön förekommer i den norra delen av havet, alltså mellan Aberdeen i Skottland och Stavanger i Norge (Wilkinson m.fl., 2013).

Såsom i Storbritannien och Nederländerna så har man också i Norge försökt förutspå kalla perioders blixtslag i helikoptrar (Køltzow, 2016). Såsom i Storbritannien, fungerar helikoptern i Norge som en negativ laddad ledare som oftast orsakar ett positivt blixtslag, på grund av att molnet är så lågt (Køltzow, 2016). Meteorologiska institutet i Norge har skapat en ekvation som räknar ut risken för att en helikopter orsakar ett elektriskt utbrott, eftersom normala åskindikatorerna inte får tag på all åska som förekommer under kalla perioder över Norska havet. Institutets ekvationen baserar sig på fyra tillstånd. Ett av tillstånden är temperaturen på 750 meters höjd, den andra är lyftet på 750 meters höjd, den tredje är nederbördens intensitet och sista tillståndet är mängden låga moln (Køltzow, 2016).

I Finland har man också forskat en del inom kalla perioders åska. Meteorologiska institutet i Finland har forskat kalla perioders åska relaterat med radarekot av två C-band dual-polariserade radar (Saltikoff m.fl., 2016). Målet med forskningen var att undersöka snöhagelns mängd i bymolnet då det förekom åska. I deras forskning kom de fram att det förekommer en ökning av mängden snöhagel i bymolnet i samband med åskan. Saltikoff m.fl. kom också fram till att förutspå en ökning av snöhagel mängden i ett bymoln är väldigt svårt. En del determiniska hög-resolutions modeller har mikrofysiska egenskaper som kan räkna ut mängden snöhagel inne i molnet, men resultaten varierar väldigt mycket mellan modellerna (Saltikoff, 2016).

I USA har man forskat mycket inom kalla perioders åska, eftersom det i USA förekommer åska mycket oftare under kalla perioder än vad det gör i Finland (Kumjian & Deierling, 2015). Studierna visar att mängden rapporter av att ett flygplan har blivit träffat av en blixtn under kalla perioder överskrider mängden rapporter som görs under varma perioder (Hemink m.fl., 2007). I Missouri's universitetet gjordes det en forskning på klimatologin bakom kalla perioders åska (Market m.fl., 2002). Gruppen forskade både från en synoptisk synvinkel och en mesoskala synvinkel. Gruppen analyserade händelser som förekom mellan månaderna oktober och april mellan åren 1961 och 1990. Gruppen kom fram till att det förekom mest kalla tiders åska på två platser i USA. En av de två



platserna var bredvid Stora Sjöarna i centrala USA och den andra var mellan Nevada och Utah bredvid Stora Saltsjön. Orsaken till varför det förekommer mycket kalla tiders åska på de här platserna är att sjöarna ger upphov till sjösnöeffekt och topografin vid Nevada ger upphov till orografiska lyftning som sedan i sin tur skapar åskande bymoln (Market m.fl., 2002). Gruppen undersökte också hurdan väderförhållande det var under åskan och styrkan på snöfallet. Det visade sig att i under 30 årsperioden 50 % av fallen förekom det lätt snöfall, medan det förekom i 25 % av fallen måttlig snöfall och 25 % av fallen kraftig snöfall. Forskarna kunde inte säga vad som möjligen var orsaken till att det varierar så mycket på styrkan av snöfallet vid blixtslagen (Market m.fl., 2002), men senare har man trott att det troligen har något att göra med urladdningen i bymolnet. Bymolnet urladdas inte lika snabbt om det snöar lätt (Korpela, 2017). I Missouri's forskning kom det fram att största delen av åskan hängde i samband med en cyklon. Andra mindre orsaker var orografisk lyftning, fronter och sjösnöeffekten. 10 % procent av fallen som förekom mellan åren 1961 och 1990 kunde man inte klassificera det varande väderfenomenet (Market m.fl., 2002). Största delen av fallen förekom i månaden mars, vilket är på grund av att jetströmmen flyttar sig norrut vid våren, vilket gör mars till en varmare och lämpligare månad för kalla tiders åska (Market m.fl., 2002).

I USA har man också forskat i kalla perioders åska med hjälp av radarbilder (Kumjian & Deierling, 2015). I forskningen kom det fram med hjälp av radarbilderna att blandfas området i bymolnen nådde inte i alla händelser till höjden där temperaturen var -20°C, vilket betyder att en del av bymolnen blev väldigt låga och svaga. Samtidigt märkte de att bymolnen som gav upphov till åska hade ett eko på minst 40 dBZ, jämfört till de andra bymolnen på samma området (Kumjian & Deierling, 2015).

I forskningen kom det också fram att då åskan slog till förekom det oftast kraftig snöfall (Kumjian & Deierling, 2015), vilket motstrider forskningen ovan som också gjordes i USA, var det kom fram att i 50 % av kalla perioders åskfall förekom det lätt snöfall (Market m.fl., 2002). Forskarna fundera också om det skulle finnas någon tröskel för laddning i kalla perioders bymoln som sedan skulle ge upphov till åska, utan eller med hjälp av ett nära flygande flygplan (Kumjian & Deierling, 2015). Dock är det svårt att veta eftersom det går inte att mäta laddning i atmosfären.

### 3. Flygvädersservicen

Blixtslag har alltid varit ett farligt fenomen för flygplan uppe i luften och det är rätt vanligt att en blixträff träffar ett flygplan i dagens läge, men själva blixtslaget är sällan orsaken till olyckor (Rash, 2010). Ett blixtslag sätter alla passagerare ombord i fara och kostnaderna av en blixträff är rätt så stora för flygbolaget (Mäkelä m.fl., 2013). I dag är flygplanen väl skyddade och belastade med skyddsinstrument för blixtrar. Det är beräknat att varje plan träffas av en blixträff varje 1000:e flygtimme (Rash, 2010).

En stor förändring i säkerheten skedde efter en stor olycka den åttonde december 1963 (Mäkelä m.fl., 2013). Ett passagerarflygplan blev träffat av en blixträff när planet höll på att närma sig Philadelphias internationella flygfält. Blixten träffade i bränsletanken på den vänstra vingen som fattade eld. Efter en kort stund förlorade planet en stor del av vänstra vingen i luften och planet störtade ner nära Elkton, Maryland. Alla 81 människor ombord omkom omedelbart i olyckan (Civil Aeronautics Board, 1965). FAA (Federal Aviation Administration) beordrade efter olyckan att alla amerikanska flygbolag skulle installera skyddsinstrument för blixtslag på varje kommersiella flygplan (Mäkelä, m.fl., 2013) som sedan har spritt ut över världen och i dagens läge är nästan alla kommersiella flygplan utrustade med skyddsinstrument för blixtslag (Rash, 2010).

#### 3.1 Blixträff i flygplan

När en blixträff träffar ett flygplan, så är det sällan något värre händer flygplanet eller människorna ombord (Kumjian & Deierling, 2015). Det kan vara skrämmande, eftersom det sker en stor smäll i samband med träffen och omgivningen blir helt vit på grund av blixstens strömstyrka (Skybrar, 2016). Det är upp till piloten om han vill fortsätta flyga efter ett blixtslag eller landa tillbaka på flygfältet (Sweers m.fl., 2012). Oberoende av valet så måste flygplanet undersökas efteråt. Undersökningen varar länge, eftersom man noggrant måste undersöka varje del av planet och kontrollera att alla elektriska apparater fungerar rätt inför nästa flyg (Sweers m.fl., 2012). Redan det att planet tas bort från flygbolaget för en tid kostar en hel del för bolaget och även inspektionen kostar (Wilkinson m.fl., 2013). Eftersom ett blixtslag i ett flygplan är vanligt i dagens läge, så

blir det dyrt för ett flygbolag i det långa loppet. Det har kommit fram i studierna att flygplan oftast blir träffade av blixten mellan höjden 5000 och 15 000 fot, vilket betyder att flygplanet oftare blir träffad under landning eller stigning än under kryssnings höjd (Sweers m.fl., 2012). 90 % av blixtrträffarna har också skett inne i molnet och 90 % av alla blixtar som träffar ett flygplan har själva flygplanet varit orsaken (Rash, 2010). Statistiken baserar sig dock på varma perioder (Sweers m.fl., 2012). I en forskning i Nederländerna märkte man att 84 % av kalla periodens blixtrträffarna i ett flygplan förekom kring 3000 fots höjd, som är lägre än under varma perioder (Hemink m.fl., 2007). Detta beror på att bymolnen är inte alls lika höga under kalla perioder som under varma perioder (Mäkelä m.fl., 2013).

När en blixtr träffar ett plan så har den en direkt och en indirekt inverkan (Rash, 2010). Direkt inverkan är när blixten träffar ytan av planet. En blixtr innehåller en hög elektrisk ström på cirka 20 000 ampere. Detta gör att skalet kan smälta eller brinna vid blixtrträffen. Temperaturen stiger vid träffen och kan möjligen tända på bränsleånga. Detta är livsfarligt om blixten når ända till någon av bränsletankarna i flygplanet. Därför är bränsletankarna byggda av ett annat material som inte kan skapa en gnista eller få ett brännhål i skalet av en blixtr. Indirekt inverkan är det när en blixtr träffar i skalet på planet och strömmen kan förstöra någon elektriska apparat, genom att leda sig via flygplanets struktur (Rash, 2010). Det behöver inte heller vara den elektriska strömmen, utan det kan också vara en stötvågen som förstör apparaten, som uppstår av den hårda smällen (Sweers m.fl., 2012). Hela strukturen på hur planet är uppbyggt ger nästan fullständigt skydd för en blixtrträff, även om blixten innehåller en väldigt stor elektrisk ström. Strukturen på flygplanet som skyddar mot blixten är baserat på Faradays bur (Rash, 2010).

Skyddsmekanismen på flygplanet skyddar väldigt bra mot direkt och indirekt inverkan. Man kan också väldigt bra undvika åska med noggrant planerande av rutt och användning av planets inbyggda väderradar som befinner sig i nosen av planet (Rash, 2010). Piloterna försöker hålla sig borta på en 40 kilometers (20 nautisk mil) avstånd från bymolnen (Skybrar, 2016). Åskmolnen eller bymolnen brukar ha ett kraftigare eko som oftast syns tydligt på radarn vilket gör att åskan är lätt att märka på långt avstånd (Rash, 2010). Att förutspå åska är väldigt viktigt för flygtrafiken, specifikt när det gäller överraskande blixtslag (Mäkelä m.fl., 2013).

### 3.2 Åska inom flygservicen

En del av väderfenomen informeras efter att man har fått någon observation om händelsen och en del information förutspås i förväg. Allt baserar sig på ICAO Annex 3 kontraktet som skapades i Chicago den sjunde december 1944 mellan 52 länder (ICAO, 2018) för flygtrafiken. ICAO Annex 3 berättar hur saker anmäls och vad som får anmälas och kräver att man inte får anmäla väderfenomen som inte har någon betydelse för flygplan (ICAO, 2016). Till exempel förutspås turbulens och isning för piloter, men inte hur länge solen lyser varje dag och vad temperaturen kommer att vara om två timmar. Med betydande väderfenomen menas också styrkan på något fenomen, som till exempel förutspås måttlig eller hård turbulens och inte svag turbulens, eftersom flygväderservicen är menad till största del för stora kommersiella flygplan. På basen av hur kraftig något väderfenomen är anmäls det i olika system, eftersom systemen är uppbyggda så att piloterna snabbt får information om något betydande väderfenomen så att de har möjlighet att ändra på sin flygrutt (ICAO, 2016). Men eftersom varje system baserar sig på ICAO Annex 3 så skapar det luckor i informationen.

Som tidigare nämnts finns det olika sätt och olika system hur man rapporterar och förutspår väder och ett av dem är TAF. TAF (Terminal Aerodrome Forecast) är en väderleksrapport för en flygplatsen som normalt är en 24 timmar lång prognos (Hirvonen, 2017). TAF är en kodrad som innehåller information om vädret som är riktat mot avgående och landande flygplan. Varje flygfälts TAF baserar sig på det varande vädret vid flygplatsen då TAF:en görs, alltså ganska långt på senaste METAR-observationen vid flygplatsen. METAR (Meteorological Terminal Air Report) är en liknande kodrad som TAF, men innehåller bara information om observationerna vid flygfältet. Största delen av METAR-observationerna är automatiska, men på väldigt aktiva flygplatser som, till exempel Helsingfors-Vanda flygfält, görs observationerna manuellt av en observatör, som befinner sig på flygfältet. Vid större och mera aktiva flygfält görs det ytterligare en två timmars prognos i slutet av METAR-kodraden och denna kallas för TREND (Hirvonen, 2017). Viktigt med TREND:en är att den skall vara i par med TAF:en och inte motstrida prognosen.

SWC (Significant Weather Chart) är en karta som ritas över ett område som innehåller information om vädret för piloter från markytan ända upp till tropopausen (Hirvonen, 2017). På kartan ritas man in betydande väderfenom som kan vara ett problem eller ett hot, för flygplan så att piloterna skall ha en möjlighet att kunna undvika dem. Betydande väderfenomen är fenomen som kan göra en stor skada på ett flygplan. En del väderfenomen är farliga oberoende av styrkan som till exempel frysande regn medan vissa fenomen är mera farliga när styrkan på fenomenet är måttligt eller kraftigt. När det förekommer farliga väderfenomen såsom kraftig åska, hård turbulens eller hård isning inne i ett moln, anmäls fenomenet via SIGMET-systemet. SIGMET (Significant Meteorological Information) är en varnings kodrad som berättar viktiga egenskaper om ett farligt väderfenomen. På Helsingfors-Vanda flygfält görs det ytterligare en varning som berättar om farliga fenomen vid flygfältet mellan markytan och FL100 (10 000 fot). Detta kallas för EFHK WXWRNG och detta är riktat för flygplan som håller på att landa eller avgå medan SIGMET är en varning som kan befinna på vilken höjd som helst (Hirvonen, 2017).

Alla ovan nämnda system används överallt i världen eftersom de är baserade på ICAO Annex 3:s kontrakt, som gör att samma system betyder samma sak var man än är (ICAO, 2016). Varje land har dock egna icke-officiella system som man har gjort tillsammans med något bolag eller statligt företag som sköter över landets flygfältet. Till exempel på Helsingfors-Vanda flygfält samarbetar Finavia och Meteorologiska institutet och tillsammans har de skapat ett icke-officiellt prognos system (Hirvonen, 2016). Den dejourerande meteorologen fyller i systemet mera detaljerat för varje timme hurdan väder kommer att vara vid flygfältet. Systemet kallas för Airport Forecast (Hirvonen, 2017). Orsaken till att ett sådant system har skapats, är på grund av alla brister som förekommer till exempel i TAF:en. Mera information om varje system och deras brister tas upp i var sitt eget underkapitel till följande. Varje kapitel kommer också att fokusera på hur åska anmäls i respektive system.

### 3.2.1 Terminal Aerodrome Forecast, TAF

TAF är en flygfälts prognos för de kommande 9-24 timmarna (ICAO, 2016), beroende på flygplatsen. Den aktivaste flygfälten har alltid en 24 timmars prognos för att man skulle kunna få en möjlighet att planera följande dags aktivitet. 24 timmars prognos är också

för piloterna som flyger från ställen längre bort, så att de vet vad som väntar dem framme vid destinationen. Detta ger dem en möjlighet att planera hur mycket bränsle som behövs för landningen (Hirvonen, 2017). TAF är som sagt en kodrad som innehåller information om vädret på flygfältet och hur det kommer att utveckla sig inom de kommande timmarna. TAF:en innehåller information om vindens styrka och dess riktning, vertikalt synfält, vädret, molnigheten och molnets botten höjd. En TAF görs var tredje timme dygnet runt och baserar sig oftast på den senaste METAR-observationen (ICAO, 2016). Den dejourerande meteorologen övervakar TAF:en och korrigerar om något blir sämre eller bättre än vad som förutspåddes eller om det sker någon oförväntat i vädret (Hirvonen, 2017).

När en TAF skrivs försöker man få den så kort som möjligt, det vill säga lämna bort alla icke betydande förändringar. Orsaken är att ju längre TAF desto jobbigare blir det och läsa den (Hirvonen, 2017). I en TAF skriver man inte in varenda liten förändring, utan bara om något förändrar betydande som kan påverka pilotens landande eller stigande (ICAO, 2016). Man skriver inte en förändring om molnet stiger 100 fot, så länge den inte överskrider någon tröskel. Man förutspår förändringar med fyra olika kommandon. De olika kommandona är: BECMG som betyder att vädret ändrar sig till något specifikt, TEMPO om vädret varierar mellan två olika väderfenomen hela tiden eller sen PROB30 och PROB40 som betyder att något sker med 30 % eller 40 % sannolikhet (ICAO, 2016). TAF är med en timmes noggrannhet, men man brukar inte skriva en timmes långa förändringar, eftersom det ökar på TAF:ens längd och det då blir mycket jobbigare att läsa TAF:en (Ylläsjärvi, 2017).

När man förutspår olika väderfenomen i en TAF, så skriver man in bara betydande väderhändelser (ICAO, 2016). Till betydande väderhändelser hör till exempel måttligt eller hårt regn och snöfall eller åska. Detta betyder att då det förekommer lätt snöfall eller lätt regn så informeras det inte, så länge fenomenet inte påverkar synfältet. Åska brukar förutspås i en TAF med beteckningen TS som kan förknippas med TSRA, TSSN eller TSGRRA, som betyder att det förekommer regn, snöfall eller hagel med åska. Om det i en TAF finns kommandot TEMPO 0912/0915 TSRA, så betyder det att åska och regn förekommer varierat mellan 12 UTC och 15 UTC (ICAO, 2016). Problemet med TEMPO gruppen är att den inte berättar något annat om själva väderfenomenet, till exempel om åskan förekommer mera mot slutet eller mot början av gruppen samt hur

kraftig åskan är. Är det frågan om några enstaka blixtar eller ett dussin blixtar? Det är viktigt att komma ihåg att det är omöjligt att förutspå när den första blixten kommer att slå och var. Ett annat problem med gruppen är att den inte berättar exakt var åskan kommer att befinna sig, eftersom detta skulle vara viktig information för piloter så att de vet hur de skulle kunna undvika en blixträff.

### 3.2.2 Significant Weather Chart, SWC

SWC är en karta som berättar hurdan väder det förekommer över något område och på vilken höjd mellan markytan och FL450 (45 000 fot). På Meteorologiska institutet görs en NSWC (Nordic Significant Weather Chart) som täcker Skandinavien, de baltiska staterna och Finland (Hirvonen, 2017). Kartan görs i samarbete med SMHI (Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut) sedan den andra juli 2015 och publiceras fyra gånger om dygnet. Detta betyder att en karta är i kraft sex timmar och kartan övervakas av den dejourerande meteorologen som korrigerar kartan när någon specifik förändring sker och samtidigt uppfyller ICAO Annex 3 krav (Hirvonen, 2017).

När man ritar kartan skall man försöka göra den så lättläst som möjligt, men så att den innehåller all viktig information. Detta betyder att det i kartan bara ritas in fenomen som förekommer brett och är betydande. Om man skulle rita in varenda lilla enstaka fenomen skulle kartan bli fylld av symboler och väldigt svår att läsa. I kartan försöker man lägga till den mest betydande värdet för något fenomen, som till exempel högsta höjden på hur högt ett bymoln (cumulonimbus) växer till. När man förutspår åska så märks det med en symbol antingen utan eller med LCA beteckningen före. Skillnaden är att utan beteckningen betyder det att åskan förekommer väldigt tätt inom ett området medan LCA beteckningen syftar på att det förekommer enstaka blixtslag på ett område. Man korrigerar kartan till orsaken av åska bara då åska förekommer tätt på ett ställe vart det är inte förutspått, om åskan är mycket bredare eller om åskan är inblandad med moln, så att fenomenet är svårt att upptäcka (Hirvonen, 2016). Om det förekommer någon enstaka blix som sker på basen av ett flygplan eller en mast (Mäkelä m.fl., 2013) så korrigeras inte kartan, eftersom detta inte uppfyller ICAO Annex 3:s krav (Hirvonen, 2017).

### 3.2.3 EFHK WXWRNG

EFHK WXWRNG är ett varningsmeddelande för Helsingfors-Vanda flygfält och dess omgivning, alltså flygplatsens kontrollzon (CTR) och flygplatsens terminalområde (TMA) (Ylläsjarvi, 2017). Meddelandet görs när det förutspås eller observeras ett farligt fenomen mellan markytan och FL100 (10 000 fot), som kan störa avgående och landande flygplan. Meddelandet är i kraft två timmar varefter den dejourerande meteorologen måste radera meddelandet eller förnya meddelandet. I varningsmeddelande anmäls turbulens, vindskjuvning, isning och om en blixträffat ett flygplan vid landningen eller vid stigningen. Alla andra fenomen kan förutspås med hjälp av vädermodeller, men blixträff i ett flygplanet görs bara då det har hänt. Flygledaren anmäler åt den dejourerande meteorologen om händelsen, som sedan skapar meddelandet. Det är viktigt att piloterna som landar eller avgår vet att det förekommer farliga fenomen nära landningsbanan, så att piloten inte utsätter passagerarna ombord för fara (Ylläsjarvi, 2017).

Problemet med ett meddelande om blixträff är att meddelandet inte berättar platsen där blixten slog ner. Detta skulle ge mera information för piloten så att piloten skulle ha möjlighet och undvika område eller specifika bymoln. På Helsingfors-Vanda flygfält förekom det en händelse var tre avgående flygplan i rad blev träffade av en blixträff i tur och ordning (Mäkelä m.fl., 2013).

### 3.2.4 Significant Meteorological Information, SIGMET

SIGMET är ett varningsmeddelande som görs då något väderfenomen är farligt för ett flygplan, till exempel när det förekommer hård turbulens eller ett brett område med tät åska (ICAO, 2016). SIGMET:s uppgift är att informera alla piloter var det farliga fenomenet förekommer, alltså dess höjd och vertikala utsträckning och hur fenomenet kommer att röra på sig och hur den utvecklar sig med tiden. Varje land sköter om sitt eget lands luftområde och är skyldig att lägga upp en varning då det behövs (ICAO, 2016). Ett SIGMET-meddelande är väldigt bra konstruerat, eftersom det finns bra med information om själva fenomenet vilket hjälper piloterna att välja en ny rutt på basen av att hur fenomenet beter sig. Den största bristen är att alla länder gör sina




SIGMET-meddelande på olika sätt. Vissa länder har låg tröskel för att göra ett meddelande medan andra gör meddelanden först när det är säkert att fenomenet förekommer (Hirvonen, 2017). Till exempel kan man göra en SIGMET var det står att man förutspår att det förekommer hård turbulens eller sen väntar man på att man får en observation av saken och sedan gör en varningsmeddelande var det står att fenomenet är observerat. Allt baserar på den dejourerande meteorologen, alltså med andra ord hur meteorologen uppfattar själv situationen och hur meteorologen är lärd. På Meteorologiska institutet görs inget SIGMET-meddelande förrän åskan förekommer tätt och upptar ungefär ett  $100 \times 100$  kilometers område, om åskan är väl täckt inne i molnmassan som gör att det är svårt att upptäcka åskan eller när det förekommer en tydlig bylinje med åskan (Ylläsjärvi, 2017). För några enstaka blixtslag görs inte ett meddelande eftersom det är lätt att undvika ett sådant område. Detta betyder att under kalla perioder görs det inte oftast något SIGMET-meddelande över åska, eftersom åskan inte förekommer tätt eller brett. Om det gjordes ett varningsmeddelande av åska under kalla perioder, som orsakades av ett flygplan och det bara förekom några blixtslag, skulle SIGMET-meddelandet vara onödigt. SIGMET:s uppgift är att varna piloter då det säkert finns ett farlig fenomen och inte meddela att det möjligen finns en lite risk till ett farligt fenomen eller kalla tiders åska.

### 3.2.5 Airport Forecast

Airport Forecast är ett system som görs i samarbete mellan Meteorologiska institutet och Finavia vid Helsingfors-Vanda flygfält (Hirvonen, 2017). Systemet är inhemskt och används bara i Finland. Meningen med systemet är att Meteorologiska institutet har möjlighet att bättre meddela flygfältet och flygledaren om det kommande vädret. Systemet uppdateras var tredje timme efter att flygfältets TAF är gjord. Airport Forecast är en längre prognos än vad TAF är och innehåller information mera noggrant för de kommande 36 timmarna. Orsaken till systemet är att kunna meddela om vädret mera noggrannare än vad TAF och SWC gör, så att man kan planera flygfältets beredskap vid behov. Airport Forecast innehåller också information som inte nämns i en TAF som till exempel temperatur, mängden snöfall och om det förekommer en inversion vid ytan. Airport Forecast innehåller också samma information som flygfältets TAF, eftersom datat kommer rakt från flygfältets gjorda TAF och modellen HIRLAM (Hirvonen, 2017). I

Airport Forecast finns det också en textruta var man med egna ord kan skriva om kommande väder och berätta om vad som är osäkert, så att flygfältet och flygledaren bättre förstår och vet vad de skall fokusera på (Hirvonen, 2017). Systemet är också lätt att läsa eftersom den använder sig av färger och anmäler svaga och ofarliga saker i grönt, måttliga fenomen i gult och farliga och kraftiga fenomen i rött. I Bild 3.1 kan man se hur en färdig version av Airport Forecast ser ut med alla färger och värden.

När åska anmäls i Airport Forecast så anmäls det bara i väderspalten med symbolen TS. I textrutan kan man sedan berätta mera om själva åskan, hur kraftig den kommer att vara och om den kommer att befinna sig över flygfältet eller om den endast kommer att passera förbi vid kanten av flygfältets område. Allt detta kan man få från olika determiniska modeller som är i användning på Meteorologiska institutet. Det är givetvis svårt att förutspå åska som orsakats av avgående eller landande flygplan under kalla perioder. Airport Forecast skulle i framtiden kunna vara ett möjligt ställe där man skulle kunna anmäla risken för sådana tillfällen.



ILMATIETEEN LAITOS

Airport Forecast

Tämä sivu on haettu palvelimelta: 13.11.2017 08:40:08 UTC

Tulostuspaino

Paino

ISSUED AT:

13.11.2017  
08:01:43 UTC

Additional info:  
(in Finnish)

Lännenpuoleiset tuulet, aamupäivällä pilven alaraja enimmäkseen alle 1000ft, lämpötila -1500ft.

NEXT UPDATE:

09 UTC

13 November 2017

14 November 2017

TIME (UTC)

06

07

08

09

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

00

01

02

03

04

05

06

07

08

09

10

11

12

13

14

15

16

17

Wind DIR

250

250

270

290

290

280

260

250

250

240

250

260

260

250

250

260

260

240

240

240

240

240

240

240

270

270

270

270

270

270

250

250

240

230

240

260

Wind SPEED(k)

7

7

7

7

7

7

6

6

6

6

6

6

6

4

4

4

4

4

4

4

4

4

4

4

4

6

7

9

9

7

7

6

7

6

6

Wind GUST(k)

11

11

11

11

10

10

8

8

8

8

8

8

8

6

7

6

6

6

6

6

6

6

6

6

6

7

10

10

12

12

12

10

8

8

8

7

RWY04

CrossWind(k)

3

3

5

6

6

6

3

2

2

1

2

3

2

3

2

0

3

2

1

1

1

2

1

3

3

4

6

5

6

6

6

3

3

1

0

1

3

TailWind(k)

6

6

5

3

3

4

5

6

6

6

5

4

5

4

5

4

4

4

3

0

3

3

4

5

5

7

7

6

6

6

7

6

5

5

5

5

1000ft  
TailWind(k)

12

12

9

5

1

5

2

2

3

2

2

2

7

0

5

7

5

5

7

5

2

1

5

5

7

12

12

12

12

12

12

12

15

15

9

9

RWY22

CrossWind(k)

3

3

5

6

6

6

3

2

2

1

2

3

2

3

2

0

3

2

1

1

1

2

1

3

3

4

6

5

6

6

6

3

3

1

0

1

3

TailWind(k)

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

1000ft  
TailWind(k)

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

RWY15

CrossWind(k)

7

7

5

5

5

6

5

5

6

6

5

6

6

5

4

6

4

4

6

4

4

4

4

4

4

4

4

5

6

6

5

5

7

7

5

7

6

6

TailWind(k)

1

1

3

5

5

4

2

1

1

0

1

2

0

2

0

0

2

1

0

0

0

1

1

2

2

3

3

3

4

4

1

1

0

0

0

2

1000ft  
TailWind(k)

12

12

15

13

9

13

14

14

16

14

14

14

11

6

13

11

11

12

13

12

11

13

14

0

7

7

11

12

18

18

18

18

18

15

15

15

15

15

RWY33

CrossWind(k)

7

7

5

5

5

6

5

5

6

6

5

6

6

5

4

6

4

4

4

4

4

4

4

4

4

4

4

5

6

6

5

5

7

7

5

7

6

6

TailWind(k)

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

1000ft  
TailWind(k)

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

Temperature

1

0

1

1

1

1

2

1

0

0

0

0

1

1

1

0

0

-1

-1

-1

-1

-2

-2

-3

-3

-2

0

1

2

2

2

2

1

1

0

0

Dew point

1

0

0

1

1

1

1

1

0

0

0

0

0

0

0

0

0

-1

-2

-2

-1

-1

-2

-3

-3

-2

-1

1

1

2

2

2

1

0

0

-1

Snow (cm/h)

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

Rain (mm/h)

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

0

Visibility/Weather

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

-RA

TEMPO VIS/WX

Cloud ceiling

TEMPO Ceiling

Bild 3.1: En skärmbild av Airport Forecast som syns för användaren. Tabellen innehåller all information och värden för varje timme. Ovanför tabellen finns textrutan där den dejourerande meteorologen med egna ord kan skriva om vädret och osäkerheten och andra saker som bör ta i beaktande. Bilden är hämtad från <http://ilmanet.fi>.

## 4. Material

Detta kapitel handlar om datat som jag har använt för denna avhandling och varifrån den är hämtad. Största delen av datat är hämtad från Meteorologiska institutets egna arkiv. Detta betyder att endast institutets personal har tillgång till datat. En del data kan man hitta från allmänna nätsidor på internet medan en del kan kräva en specifik licens. Materialet som jag har använt för alla mina tre fall kan hittas i *Tabell 4.1* och *Tabell 4.2*. *Tabell 4.1* innehåller information om vad materialet innehåller och vad jag har använt och behövt från materialet, eftersom en del data innehåller mera information än vad som behövs för den här forskningen. *Tabell 4.2* innehåller exakt information om när observationerna eller prognoserna är gjorda och var man kan hitta datat i denna avhandling.

| Data   | Vad datat berättar   | Vad jag har använt från datat  |
|--|--|--|
| Blixtdata                                    | Berättar var blixtnedslagen har förekommit och vilken tid och hurdan blixtnedslag var i fråga.                                       | Plats och tid för blixtnedslaget.  |
| Synoptisk analys                             | Innehåller synoptiska observationer, analyserade fronter, regn samt låg- och högtrycksområden.                                       | Lågtrycksområde och fronter.   |
| METAR (Meteorological Terminal Air Report)   | Observationer från en flygplats.   | Moln och nederbörd för stunden då blixten slog till.   |
| TAF (Terminal Aerodrome Forecast)            | Väderprognos vid en flygplats.   | Väderprognosen, var åska förutspått.   |
| Sondering                                    | Temperaturprofil och vindprofil i atmosfären.  | Temperaturprofil, fuktighet, vindprofil, CAPE, CIN, jämviktsnivå, nivå för fri konvektion och lyfte. |
| SWC (Significant Weather Chart)              | Väderkarta för flygplan.   | Betydande och farligt väder för flygplan.  |
| Radarbild                                    | Radarbild (PPI) som visar ekot. Parametern hydroklass berättar vad molnet består av.   | Ekot över blixtnedslag timmen och från hydroklass parametern snöhagel ekot.                          |
| Iskarta                                      | Visar is täckningen över Östersjön och havstemperaturen med hjälp av havsbojar.  | Is täckning och havstemperatur.  |
| AMDAR (Aircraft Meteorological Data Reports) | Atmosfärens profil som är mät vid landningen eller stigningen vid en flygplats med hjälp av instrument som befinner sig på flygplan. | Temperaturprofil och vindprofil.   |

Tabell 4.1: Hurdan data har använts i mina tre fall och vad själva datat visar och vilka värden och tillstånd har intresserat mig.

Synoptiska analyskartan, SWC-kartan, radarbilderna och iskartan över Östersjön är hämtade från Meteorologiska institutets egna arkiv. Blixtdatat har jag fått från Meteorologiska institutets åskforskare Antti Mäkelä. AMDAR-datat är hämtad från NOAA:s nätsida som kräver licens. METAR, TAF och sonderingen från Jockis finns på allmänna nätsidor på internet. Sonderingen hittar man från Wyomings universitets egna hemsida. TAF- och METAR-datat kan man hitta från olika flygväder nätsidor, men i mitt fall använde jag institutets egna nätsida. Jag har också använt mig av institutets egna observationsarkiv för att kolla upp några värden som till exempel nederbördens intensitet vid Helsingfors-Vanda flygfält vid stunden av blixtslaget. En del av det använda materialet kan man hitta i *Bilagor*.

Materialet som jag har använt för alla mina tre fall innehåller brister och felmarginal. I kapitel 3.2 *Åska inom flygservicen* har jag nämnt bristerna inom själva flygväderservicen, eftersom informationen om väderfenomen baserar sig på ICAO Annex 3:s kontrakt (ICAO, 2016). Den största felmarginalen i mina använda observationerna är tiden och platsen. Med tiden menar jag att vissa observationer eller prognoser alltid görs med en viss tids mellanrum. Till exempel släpps radiosonden i Jockis två gånger om dagen, klockan 00 UTC och 12 UTC, alltså klockan 02 och 14 i vinter lokal tid. Den tätaste observationerna som vi får är radarbilderna, som uppdateras med fem minuters mellanrum. Eftersom vädret kan ändras snabbt på en kort stund så kan det vara helt olika värden mellan två observationen som har till exempel en timmes mellanrum. Med platsens felmarginal menar jag att det kan finnas ett långt avstånd mellan själva platsen man undersöker och platsen varifrån man får observationen. Orsaken är att observationsinstrumenten inte är placerade med jämna mellanrum, utan de är utspridd ojämnt över hela landet, eftersom observationsinstrument kostar en hel del (Saltikoff, 2018). Till exempel så befinner sig den närmaste radiosondmätning till Helsingfors-Vanda flygfält i Jockis, som befinner sig 100 kilometer västerut från flygfältet. Detta betyder att det kan finnas en stor skillnad i atmosfären vid flygfältet och vid Jockis vid samma tidpunkt. En orsak till detta är att Jockis befinner sig mera inåt i landet och Helsingfors-Vanda flygfält befinner sig vid kusten.

| Fallstudie                                | 3 januari 2017  | 23 april 2016   | 01 maj 2014   |
|---|---|---|---|
| Blixtdata över Finland                    | 03.01.2017<br><i>Bild 5.1.1</i>                             | 23.04.2016<br><i>Bild 5.2.1</i>                             | 01.05.2014<br><i>Bild 5.3.1</i>                             |
| Synoptisk analys över Skandinavien        | 04.01.2017 00Z<br><i>Bild 5.1.2</i>                         | 23.04.2016 12Z<br><i>Bild 5.2.2</i>                         | 01.05.2014 12Z<br><i>Bild 5.3.2</i>                         |
| Radarbild över södra Finland              | 03.01.2017 22:25Z<br><i>Bild 5.1.3</i>                      | 23.04.2016 10:45Z<br><i>Bild 5.2.3</i>                      | 01.05.2014 08:40Z<br><i>Bild 5.3.3</i>                      |
| AMDAR vid EFHK                            | 03.01.2017<br><i>Bild 5.1.4</i>                             | 23.04.2016 10:03 UTC<br><i>Bild 5.2.4</i>                   | 01.05.2014<br><i>Bild 5.3.4</i>                             |
| Radarbild [hydroklass] över södra Finland | 03.01.2017 22:25Z<br><i>Bild 5.1.5</i>                      | 23.04.2016 10:45Z<br><i>Bild 5.2.5</i>                      | 01.05.2014 08:40Z<br><i>Bild 5.3.5</i>                      |
| SWC över Skandinavien                     | 04.01.2017 00Z<br><i>Bild 5.1.6</i>                         | 23.04.2016 12Z<br><i>Bild 5.2.6</i>                         | 01.05.2014 12Z<br><i>Bild 5.3.6</i>                         |
| TAF vid EFHK                              | 03.01.2017 20:23Z<br>03.01.2017 21:26Z<br><i>Bild 5.1.6</i> | 23.04.2016 08:24Z<br>23.04.2016 10:47Z<br><i>Bild 5.2.6</i> | 01.05.2014 08:38Z<br>01.05.2014 08:57Z<br><i>Bild 5.3.6</i> |
| Nederbördsintensitet från EFHK            | 03.01.2017<br><i>Bilaga 1a</i>                              | 23.04.2016<br><i>Bilaga 2a</i>                              | 01.05.2014<br><i>Bilaga 3a</i>                              |
| METAR vid EFHK                            | 03.01.2017 22:20Z<br>03.01.2017 22:50Z<br><i>Bilaga 1b</i>  | 23.04.2016 10:20Z<br>23.04.2016 10:50Z<br><i>Bilaga 2b</i>  | 01.05.2014 08:20Z<br>01.05.2014 08:50Z<br><i>Bilaga 3b</i>  |
| Sondering från Jockis                     | 04.01.2017 00Z<br><i>Bilaga 1c</i>                          | 23.04.2016 12Z<br><i>Bilaga 2c</i>                          | 01.05.2014 12Z<br><i>Bilaga 3c</i>                          |
| Sondering                                 | Från Tallinn<br>04.01.2017 00Z<br><i>Bilaga 1d</i>          | -   | Från Sankt Petersburg<br>01.05.2014 12Z<br><i>Bilaga 3d</i> |
| Iskarta över Östersjön                    | 03.01.2017<br><i>Bilaga 1e</i>                              | 23.04.2016<br><i>Bilaga 2e</i>                              | 01.05.2014<br><i>Bilaga 3e</i>                              |

Tabell 4.2: Information om tiden och platsen när varenda en observation eller prognos är gjord för alla tre fallen. Klockslagen är i UTC tid. EFHK är beteckningen på Helsingfors-Vanda flygplats. Största delen av datat är hämtad från Meteorologiska institutets egna arkiv, medan sonderingen är hämtad från Wyomings universitetets egna hemsida ([www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html](http://www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html)) och AMDAR-datat (Aircraft Meteorological Data Reports) är hämtad från NOAA:s (National Oceanic and Atmospheric Administration) nätsida (<https://amdar.noaa.gov/>).

Felmarginal uppkommer också i själva instrumentet. En stor del av instrumenten är automatiserade och ibland kan instrumenten läsa fel på olika fenomen, som till exempel om något stör instrumentets inmatning, så att instrumentet meddelar något annat än vad det på riktigt är (Ylläsjärvi, 2017). På Helsingfors-Vanda flygfält finns det en person som gör observationer manuellt. På grund av den mänskliga faktorn (kunskap och omdöme) uppstår det också felmarginal. Radarn innehåller också felmarginal, som också är viktig att ta i beaktande. Radarkägglan från själva radarn börjar böja sig uppåt desto längre ifrån själva radarn man mäter. Till exempel om man mäter något fenomen på en kilometers

höjd på en 50 kilometers avstånd, så i samma vinkel på 200 kilometers avstånd så upptäcker kägla fenomen på fem kilometers höjd (Ylläsjarvi, 2012). Detta gör att en radar inte märker låga bymoln och vinterregn i alla situationer. I Finland finns det tio stycken radar utspridd över hela landet, vilket gör att det under kalla perioder är svårt att upptäcka alla snöfall, eftersom låga moln kan också producera någon slags snöfall (Ylläsjarvi, 2012).

Förstås är det också viktigt att komma ihåg att alla instrument innehåller felmarginal i själva mätningen och man brukar kalibrera instrumenten med lämpliga mellanrum för att få noggranna mätningar. Vissa instrument kalibreras inte lika ofta som andra och ett exempel är AMDAR-datat (Aircraft Meteorological Data Reports) (Saltikoff, 2018). NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) uppfann AMDAR-systemet som samlar ihop observationer från kommersiella flygplans (NOAA, 2014) egna instrument vid landning och stigandet från ett flygfält (de Haan, 2011). När man inte kalibrerar instrumenten tillräckligt ofta så påverkar det mätningens resultat i AMDAR-datat, vilket gör att AMDAR-mätningen inte är lika noggrann som resultatet från en radiosond. Det finns ytterligare två faktorer som påverkar på AMDAR-datats felmarginal och de är relaterade till flygplanets höga hastighet. Den höga hastighet uppe i luften värmer flygplanets yta en aning vilket betyder att flygplanets *in-situ* temperaturmätare påverkas av samma effekt (de Haan, 2011). Den andra faktorn är att när flygplanet närma sig troposfären befinner flygplanet en långt ifrån flygfältet vilket betyder att övre delen av AMDAR-datat inte berättar mera om atmosfären vid flygfältet. Detta gör att atmosfärens profilbild förvrängs och ger en fel uppfattning om atmosfären (Saltikoff, 2018). Det positiva med AMDAR-mätningarna är att man kan få observationer från ställen varifrån man normalt kan inte få (de Haan, 2011). Det största problemet med AMDAR-datat dock är att stor del av observationerna som görs inte innehåller fuktigheten av atmosfären. Orsaken till det är att fuktighetsmätare kostar väldigt mycket (Saltikoff, 2018) och atmosfärens profilmätning (sondering) är inte den primära arbete hos flygbolaget, därför finns det bara 30 stycken flygplan med fuktighetsmätare, var av största delen flyger över USA (NOAA, 2014).

## 5. Fallstudier

### 5.1 Fall 1: Den tredje januari 2017

Den tredje januari 2017 förekom det två blixtslag nära Helsingfors-Vanda flygfält. En av dem var en markblixst som träffade ett flygplan medan den andra var en molnblixst. Händelsen inträffade ungefär klockan 22.32 UTC tid, med andra ord 00.32 lokal tid den fjärde januari (Bild 5.1.1). Flygplanet som blev träffat hörde till flygbolaget Norweigan, flög från Budapest och höll på att landa på Helsingfors-Vanda flygfält (Manninen, 2017). Det finns inget säkert bevis, men meteorologerna utgår ifrån att flygplanet själv orsakade blixten eftersom det inte förekom någon annan blixst. Detta fall är delat i två underkapitel. Första underkapitlet handlar om själva synoptiska tillståndet, med andra ord hur vädret var över södra Finland. Andra underkapitlet handlar om flygvädersservicen, hurdana prognoser som gjordes före händelsen och vilka åtgärder som gjordes när blixten slog till överraskande. Materialet som används i detta fall hittas i kapitel 4. *Material*.

#### 5.1.1 Synoptisk situation

Som ovan nämndes så förekom det två blixtslag var av ett slog ner i ett flygplan som höll på att landa på Helsingfors-Vanda flygfält (Bild 5.1.1). Genom att använda analyskartan från den fjärde januari 2017 00 UTC (Bild 5.1.2), som är gjord av en dejourerande meteorolog, kan man se att ett lågtrycksområde med fronter befann sig sydväst om Finland. Lågtryckets centrum låg på Gotlands nordvästra kust. Lågtrycket och fronterna liknar den norska cyklon modellen, alltså innehåller en ocklusionsfront (Lackmann, 2012).

|                   |                     |                        |          |
|-------------------|---------------------|------------------------|----------|
| <b>2017-01-03</b> | <b>22:32:47.196</b> | <b>60.2303 24.7463</b> | <b>G</b> |
| <b>2017-01-03</b> | <b>22:32:47.196</b> | <b>60.0346 24.4458</b> | <b>C</b> |

Bild 5.1.1: Blixst-observationer i Finland den 03.01.2017. Bilden innehåller information i följande ordning: datum, klockslag, koordinater och vilken typ av blixst (molnblixst C eller markblixst G). Hämtad från Meteorologiska institutets egna arkiv..

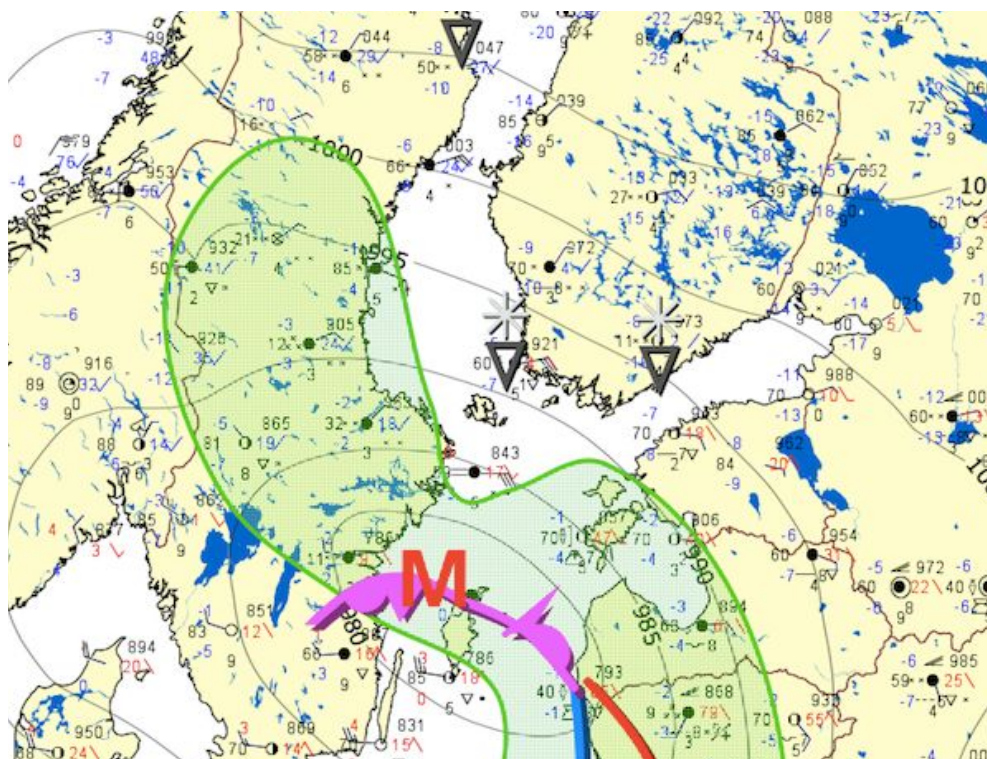


Bild 5.1.2: Den synoptiska analyskartan över Skandinavien den fjärde januari 2017, klockan 00 UTC. Gröna området indikerar regn. Hämtad från Meteorologiska institutets egna arkiv.

Med hjälp av METAR-observationen (Bilaga 1b) på Helsingfors-Vanda flygfält kan man bättre förstå förhållandena som förekom på flygfältet ungefär då blixten inträffade. Observatören har inte lagt till något märke av bymoln eller åska i METAR-observationerna även om det förekom, vilket man kan se från radarbilden (Bild 5.1.3) och blixtdatat (Bild 5.1.1). Ibland kan det vara väldigt svårt under kalla perioder att upptäcka bymoln från radarn, eftersom bymolnet kan bli väldigt lågt och svagt vilket gör att bymolnen inte syns lika tydligt i radarn (Ylläsjärvi, 2012). Från METAR-observationerna (Bilaga 1b) kan man se att vädret har varit varierande på Helsingfors-Vanda flygfält. Det har varierat mellan kraftigt snöfall och lätt snöfall vilket har betydligt påverkat på synfältet. Tydligen har passerande bymoln med snöbyar varit orsaken till att det emellanåt har snöat kraftigt.



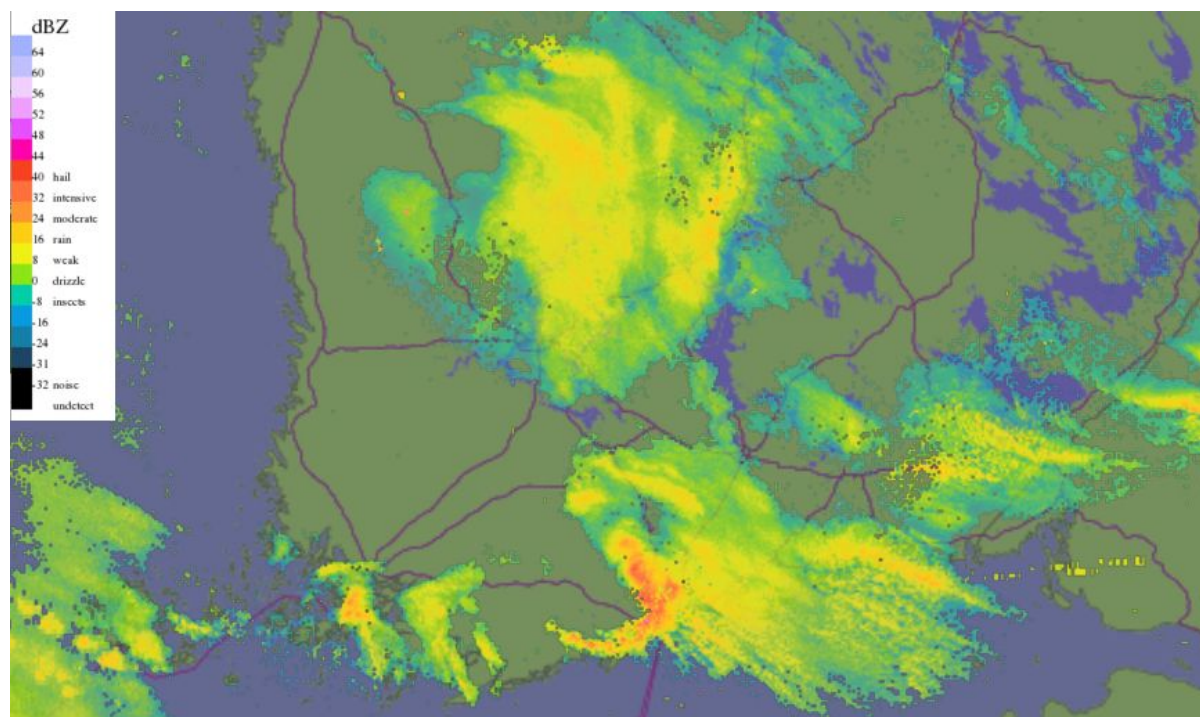


Bild 5.1.3: Radarbild (PPI) över södra Finland den tredje januari 2017 klockan 22:25 UTC. Färgkoderna står för: svart; störning eller ingen data, från blå till röd; nederbörd var blå är svag och röd är kraftig nederbörd och violett indikerar på hagel. Bilden är hämtad från Meteorologiska institutets arkiv (<http://radar.fmi.fi>).

Under kalla perioder är det viktigt att undersöka om sjösnöeffekten har haft en påverkan på bymolnens utveckling längs Finlands södra kust. Genom att använda tumreglerna från kapitel 2.3 *Sjösnöeffekt* kan man undersöka om tillstånden var lämpliga vid händelsen. Redan genom att titta på radarbilden (Bild 5.1.3) kan man tydligt se att ekot börjar från mitten av Finska viken och rör sig i nordväst riktning mot Finlands södra kust. Detta indikerar på att det troligen förekom sjösnöeffekt vid södra kusten på kvällen den tredje januari 2017. Men för att vara säker på saken måste man ännu undersöka om alla tillstånd var lämpliga. Genom att analysera vindprofilen från AMDAR-sonderingen (Bild 5.1.4) vid Helsingfors-Vanda flygfält kan man se att vindens riktning var från sydost i nedre delen av troposfären. När man vet att vindriktningen är lämplig för sjösnöeffekten, måste man ännu undersöka om det också förekom en kall advektion från sydost. Genom att titta på iskartan (Bilaga 1e) från den tredje januari 2017 kan man se att Finska viken till största del var ofryst och havsytans temperatur var ungefär 3°C varmt. Nu behövs det ännu undersöka om det förekom en kall advektion från sydost, alltså undersöka temperaturen på 850 hPa:s höjd sydost om Finska viken. Temperaturen på 850 hPa höjd kan man få från den närmaste sondering, som ligger i Tallinn, som gjordes den fjärde januari 2017 00 UTC (Bilaga 1d). Temperaturen på 850 hPa höjd var

-12.9°C (Bilaga 1d) alltså ungefär -13°C. Detta gör att temperaturskillnaden mellan havsytan och 850 hPa höjd var ungefär 16°C, vilket är större än tumregelns minimikrav (13°C) (Markowski & Richardson, 2010). Man kan alltså konstatera att alla tillstånd är lämpliga och det i sin tur tyder på att kall luft advekerade över den ofrysta Finska viken mot Helsingfors och skapade bymoln som hämtade med sig snöbyar och åska.

Från radarbilden (Bild 5.1.3) kan man tydligt se att sjösnöeffekten bara nådde södra kusten och inte Jockis, där sonderingen görs. Detta betyder att atmosfärens profil är annorlunda vid Jockis än vad den skulle vara vid Helsingfors. Genom att undersöka sonderingen vid Jockis (Bilaga 1c) kan man få en uppfattning om hurdan luftmassan som befann sig över södra Finland om man inte beaktar kustområdet var sjösnöeffekten påverkade. Från sonderingen (Bilaga 1c) kan man se att temperaturprofilen är stabil. Detta kan man även se från LI-värdet, som var 11,26. LI-värdet är stort och positivt vilket tyder på att temperaturprofilen var kraftigt stabil. CAPE fick i sin tur värdet 0,7 J/kg och CIN-värdet 0 J/kg. CAPE indikerar på att det inte fanns något lämpligt tillstånd i Jockis för konvektionens utveckling. Det fanns dock ett litet labilt område i temperaturprofilen som gav ett lågt värde åt CAPE, men detta område fanns vid gränsskiktet. Det ser man från att nivån för fri konvektion var på 942,3 hPa höjd och jämviktsnivån var på 908,8 hPa höjd. Om man ytterligare undersöker vindprofilen från sonderingen vid Jockis kan man se att det förekommer svag vindskjuvning i den nedre delen av troposfären.

Eftersom det är stor skillnad i vädret och tillståndet mellan Jockis och Helsingfors, så är inte sonderingen i Jockis den lämpligaste observationen för luftmassan. Detta gör att det är viktigt att jämföra och analysera sonderingen från AMDAR-datat (Bild 5.1.4) vid Helsingfors-Vanda flygfält. Eftersom fuktigheten fattas från profilen kan man inte räkna ut något värde från sonderingen i AMDAR-datat (NOAA, 2014), men man kan försöka göra en grov tolkning av temperaturprofilen. Min grova tolkning innebär att det finns tillräckligt med fukt i profilen för att konvektionen kan utvecklas. Från temperaturprofilen kan man se att det förekommer ett litet labilt område ovanför gränsskiktet mellan 800 hPa och 700 hPa höjd. Från AMDAR-sonderingen (Bild 5.1.4) ser det ut som om det labila området börjar vid temperaturen -15°C och slutar vid temperaturen -22°C. Om konvektion förekom på detta område skulle nivån för fri konvektion vara vid 800 hPa höjd och ha temperaturen -15°C och jämviktsnivån skulle

vara på 700 hPa höjd (10 000 fots höjd) och ha temperaturen  $-22^{\circ}\text{C}$ . Genom att ytterligare granska vindprofilen i AMDAR-datat kan man se att det förekommer svag vindskjuvning ungefär vid samma nivå som det labila området.

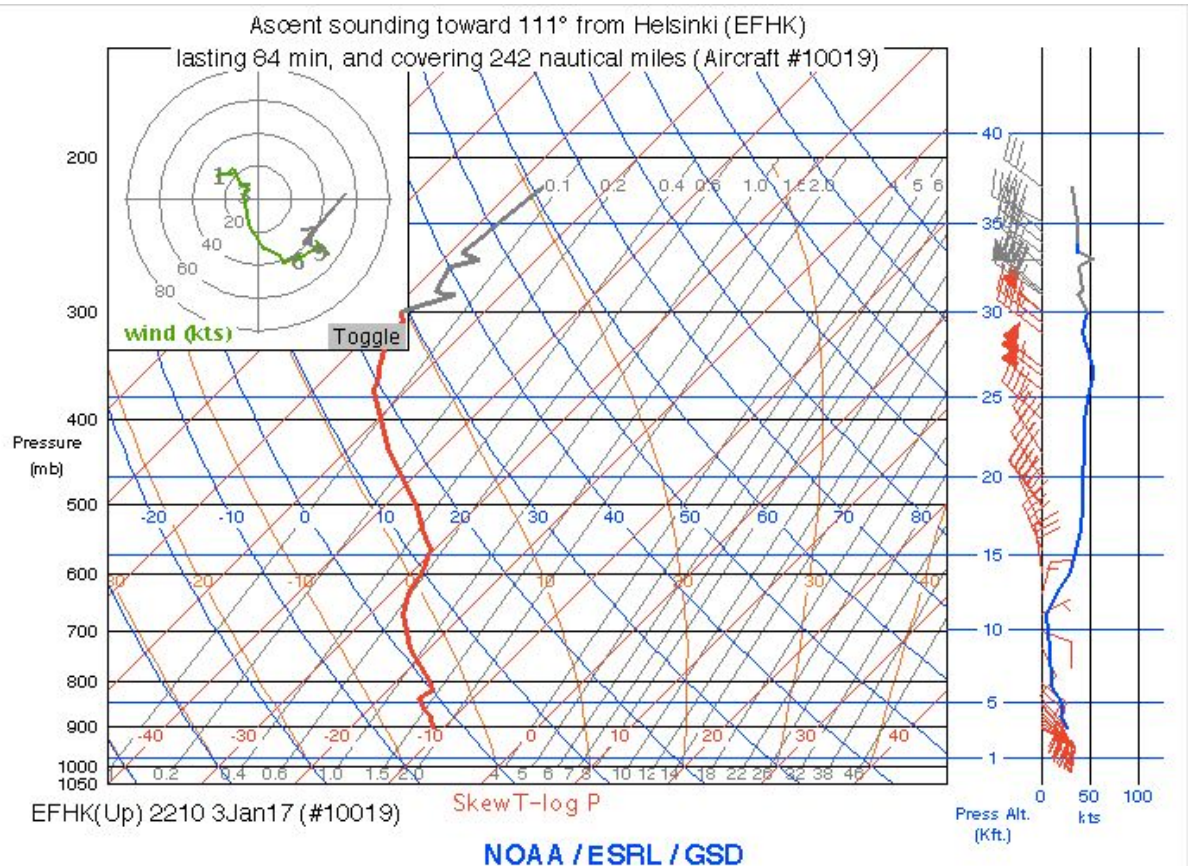
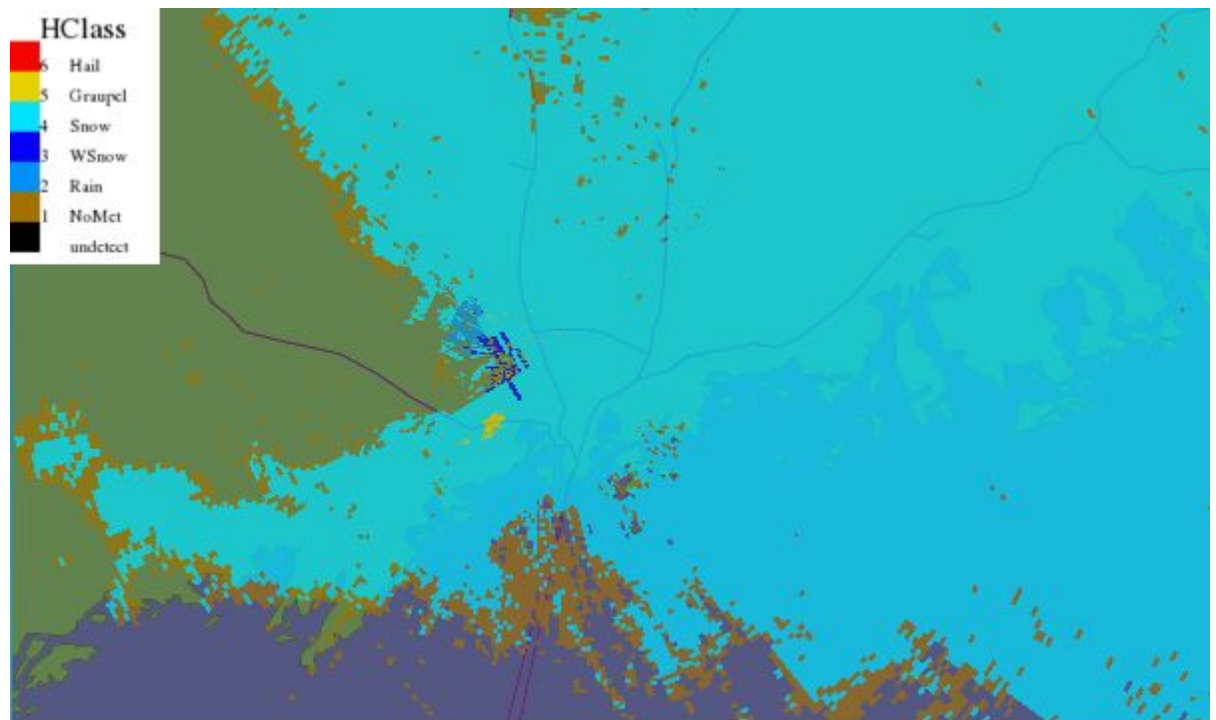


Bild 5.1.4: AMDAR-sondering (Aircraft Meteorological Data Reports) från ett stigande flygplan vid Helsingfors-Vanda flygfält den tredje januari 2017 klockan 22:10 UTC. Bilden är hämtad från NOAA:s (National Oceanic and Atmospheric Administration) AMDAR-system (<https://amdar.noaa.gov/>).

Hydroklass radarbilden (Bild 5.1.5) kan användas till att undersöka om det förekom snöhagel inne i bymolnen vid Helsingfors området. Hydroklass radarbilden är från exakt samma observationstid som radarbilden (Bild 5.1.3). Om man svänger radarkägglan mot sydväst (riktningen  $220^{\circ}$ ) så kan man se att det förekommer ett område med snöhagel (nedre delen av Bild 5.1.5). Från tvärsnitt-radarbilden kan man se att radarn upptäckte en pelare av snöhagel inne i molnet (Bild 5.1.5). Detta betyder att det förekom laddning inne i molnet eller snarare sagt bymolnet.



PseudoRHI [HCLASS] flvan 220deg 2017/01/03 22:25

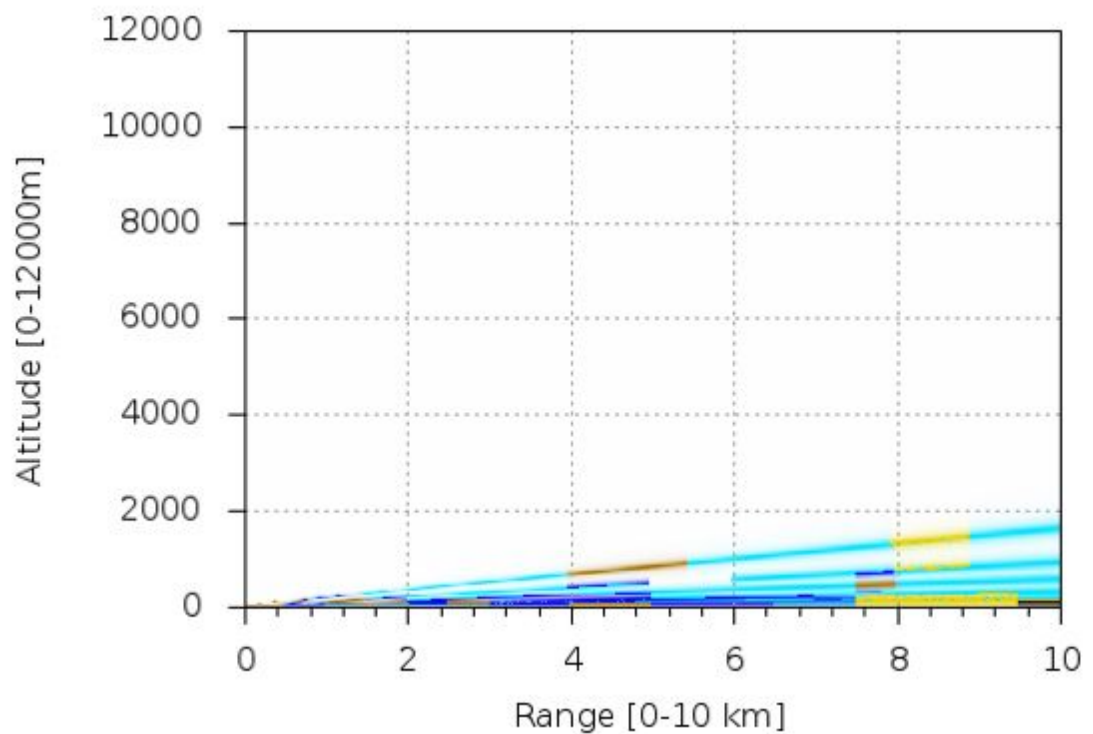


Bild 5.1.5: Hydroklass radarbild över södra kusten vid Helsingfors den tredje januari 2017 klockan 22:25 UTC. Nedre bilden är tvärsnittsbilden av radarkäglan i riktning 220° från Vandas radar. Färgkoderna står för: svart och brun; störning eller ingen data, blå; snö eller vatten och gul eller röd; hagel. Bilden är hämtad från Meteorologiska institutets arkiv (<http://radar.fmi.fi>).



### 5.1.2 Flygvädersservicen

I föregående kapitel analyserades det synoptiska vädret och de olika förhållanden som förekom då det åskade den tredje januari 2017. Detta stycke handlar om själva flygvädet, alltså hurdana prognoserna var före och vid händelsen. Genom att börja med SWC-kartan (Bild 6.1.6) får man en större uppfattning om vad som förutspåddes över södra Finland, före man tar en titt på själva Helsingfors-Vanda flygplats prognos. Det första man märker är att lågtrycksområdet med fronterna befinner sig på nästan samma plats som i analyskartan (Bild 5.1.2). Det är dock viktigt att komma ihåg att SWC-kartan är gjort före själva tiden medan analyskartan är gjord dagen efter, med hjälp av synoptiska observationer. Detta betyder att fronterna och lågtrycken ser lite olika ut när man jämför analyskartan med prognoskartan.

På kartan är det märkt att det vid kusten förekommer enskilda bymoln (COT ISOL CB), vilket indikerar att den dejourerande meteorologen har räknat ut från modellerna att det kommer att förekomma sjösnöeffekt vid södra Finlands kust. Bymolnen förväntades var högst upp till 8000 fot, vilket stämmer bra med den grova tolkningen jag gjorde från temperaturprofilen i AMDAR-datat (Bild 5.1.4). Bymolnets botten är dock mycket högre upp i den grova tolkningen av temperaturprofilen i AMDAR-datat än jämfört med SWC-kartan (Bild 5.1.6). Nära Helsingforsregionen är det också märkt ut ett tecken som betyder att det förekommer snöbyar. Tecknet syftar på att bymolnen kan producera korta men måttligt snöfall över Helsingforsregionen.

Med hjälp av TAF:en förstår man hurdant väder som förväntades vid Helsingfors-Vanda flygplats. Genom att titta på TAF:en som gjordes 20:23 UTC (Bild 5.1.6), kan man se att det är förutspått snöfall för den stunden åskan förekom. Snöfallet har förväntats ha en varierande inverkan på synfältet, vilket betyder att det förväntas snöa lite kraftigare emellanåt, men ändå klassas som lätt snöfall. Man har också förväntat sig att snöfallet utvecklas sig till måttligt snöfall med 30 % sannolikhet. Detta skulle i sin tur försämma synfältet ytterligare. En timme senare har det kommit en observation som har påverkat själva prognosen. Den dejourerande meteorologen har korrigerat TAF:en ungefär en timme efter att den ursprungliga TAF:en har publicerats. Ändringen var att det förväntades ännu kraftigare snöfall, alltså kraftigt snöfall (+SN) för den stunden blixten slog ner i flygplanet.

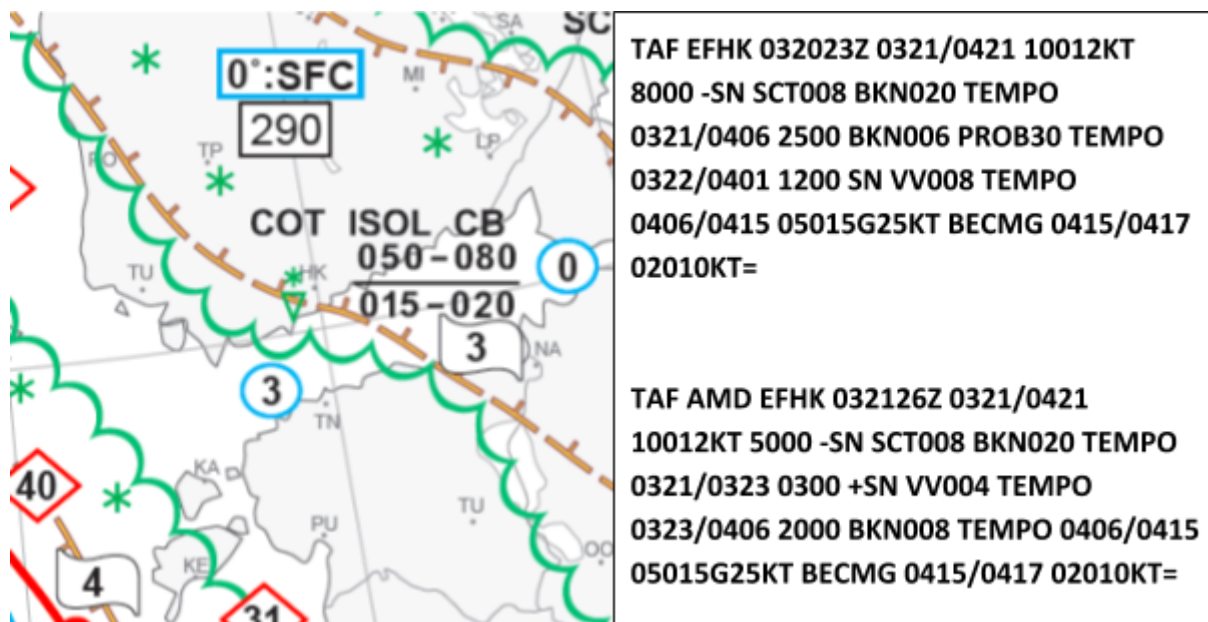


Bild 5.1.6: Till vänster södra Finlands del av SWC-kartan (Significant Weather Chart) den fjärde januari 2017 00 UTC och till höger TAF-prognoserna (Terminal Aerodrome Forecast) för Helsingfors-Vanda flygfält (EFHK) den tredje januari 2017 20:23 UTC och korregerad TAF AMD 21:26 UTC. SWC-kartan är hämtad från Meteorologiska institutets egna arkiv medan TAF:en är hämtad från Meteorologiska institutets arkiv (<http://avidb.fmi.fi>).

Efter att blixten slog ner i flygplanet har man inte gjort någon korrigering i TAF:en om åska. Detta kan betyda att den dejourerande meteorologen inte märkte att det åskade. Det fanns inte heller åska i METAR-observationen som betyder att observatören på Helsingfors-Vanda flygfält inte heller märkte blixtslaget, eftersom snöfallet kan dämpa smällarna som förekommer med blixten (Schultz & Vavrek, 2009). Det gjordes inte något WXWRNG-meddelande över fallet, vilket borde ha gjorts. Meddelandet skulle informera andra piloter om själva vädret och att åskan möjligen kan slå till igen. Inget SIGMET-meddelande gjordes heller över fallet, eftersom det bara förekom två blixtar vilket gör att fallet inte når kriterierna för att det skulle vara värt att anmäla händelsen som ett farligt väder.

## 5.2 Fall 2: Den 23 april 2016

Den 23 april 2016 förekom det flera blixtar i närheten av Helsingfors-Vanda flygfält vilket ledde till att två passagerarflygplan blev träffade av en blix. Båda planen höll på att närma sig Helsingfors-Vanda flygfält när blixterna träffade dem. Båda flygplanen hörde till Norwegians bolag och anlände från London respektive Barcelona (Santapakka, 2016). Blixterna förekom mellan 09:56 UTC och 10:59 UTC, alltså i lokal tid mellan 12:56 och 13:59 (Bild 5.2.1). Detta fall kommer att vara uppbyggt exakt likadant som

föregående fall, med två underkapitel var av det första underkapitlet kommer att handla om den synoptiska synvinkeln på händelsen och det andra underkapitlet kommer att handla mera om flygservicens synvinkel. Materialet som användes till detta fall hittas i kapitel 4. *Material*.

### 5.2.1 Synoptisk situation

Den 23 april 2016 observerades sju blixtslag varav tre stycken var markblixtar medan resten förekom inne i molnen, så kallade molnblixtar (Bild 5.2.1). Blixterna förekom mellan 09:56 UTC och 10:59 UTC, varav jag valde klockslaget 10:45 UTC. Största orsaken till varför det förekom blixtar eller snarare bymoln längs södra kusten var att det förekom ett tråg över södra Finland. Tråg brukar förekomma i samband med ett lågtrycksområde och förekommer oftast efter ett lågtrycksområde. Genom att titta på analyskartan som gjordes den 23 april 2016 12 UTC (Bild 5.2.2) kan man se att det öster om Finland fanns ett lågtrycksområde med fronter som hade en riktning mot öst. Det brukar förekomma stora förändringar i vindens riktning och hastigheten när ett tråg passerar ett område, eftersom det förekommer ett konvergens längs trågets linje, som sedan ger upphov till stigande luft och bildande av bymoln (Lackmann, 2012). Därför förekommer det vanligtvis bymoln i samband med tråget om andra tillstånden är lämpliga. Genom att analysera synoptiska observationer kan man lätt märka var tråget befinner sig, eftersom vindriktningen vid ytan ändrar sig plötsligt. Genom att titta på analyskartan (Bild 5.2.2) kan man se att det i norra delen av södra Finland blåser från nordost medan det vid södra kusten blåser från nordväst. Detta betyder att tråget finns ungefär där vinden ändrar sin riktning.

|                   |                     |                        |          |
|-------------------|---------------------|------------------------|----------|
| <b>2016-04-23</b> | <b>09:56:06.350</b> | <b>60.4287 25.1988</b> | <b>C</b> |
| <b>2016-04-23</b> | <b>09:58:53.292</b> | <b>60.4038 25.1577</b> | <b>G</b> |
| <b>2016-04-23</b> | <b>09:58:53.304</b> | <b>60.4196 25.2047</b> | <b>C</b> |
| <b>2016-04-23</b> | <b>10:43:00.342</b> | <b>60.2399 24.7036</b> | <b>C</b> |
| <b>2016-04-23</b> | <b>10:53:02.764</b> | <b>60.2256 24.7070</b> | <b>G</b> |
| <b>2016-04-23</b> | <b>10:59:00.569</b> | <b>60.1487 24.5507</b> | <b>C</b> |
| <b>2016-04-23</b> | <b>10:59:00.770</b> | <b>60.1947 24.6334</b> | <b>G</b> |

Bild 5.2.1: Blixt-observationer i Finland den 23.04.2016. Bilden innehåller information i följande ordning: datum, klockslag, koordinater och vilken typ av blixt (molnblixt C eller markblixt G). Hämtad från Meteorologiska institutets egna arkiv.

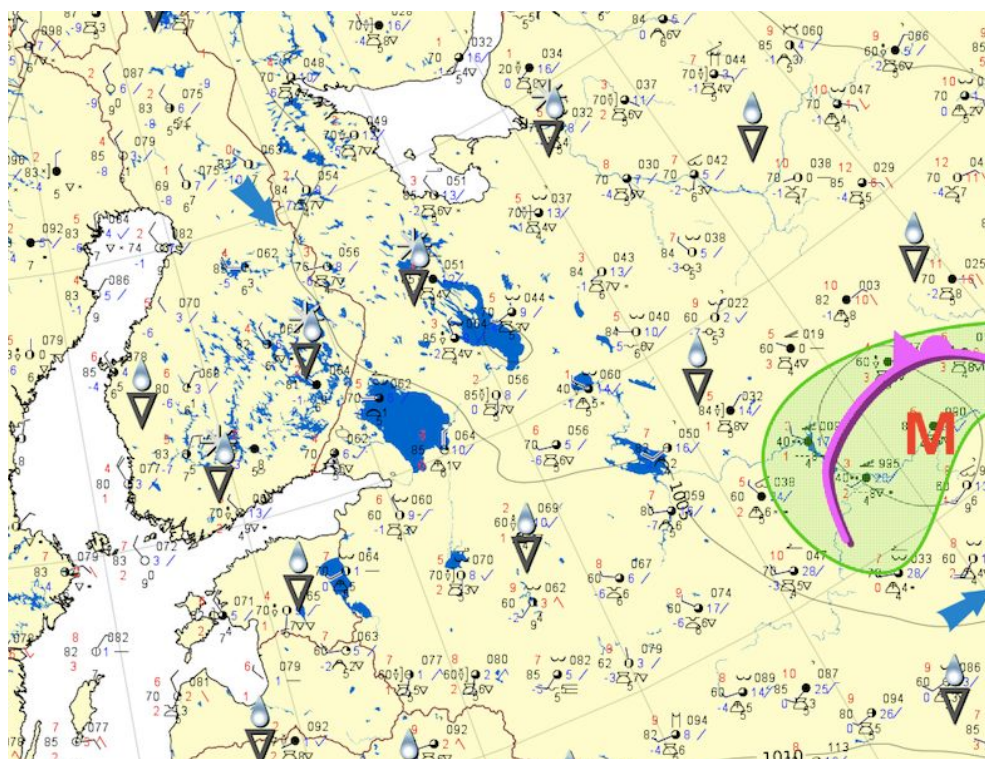


Bild 5.2.2: Den synoptiska analyskartan över Skandinavien den 23 april 2016, klockan 12 UTC. Gröna området indikerar regn. Hämtad från Meteorologiska institutets egna arkiv.

Genom att undersöka vindprofilen från den närmaste gjorda AMDAR-sonderingen vid Helsingfors, kan man se att i nedre delen av troposfären blåser vinden från nordost och i övre delen av troposfären blåser vinden från nordväst. Vindens riktning är inte lämplig för att sjösnöeffekten skulle ha en inverkan på Finlands södra kust och utvecklingen av bymoln, vilket betyder att man kan utesluta att sjösnöeffekten förekom den 23 april 2016. Med hjälp av radarbilden (Bild 5.2.3) kan man se att det inte uppstår något eko från Finska viken. Från samma bild kan man också se att det kraftigaste ekot förekommer längs södra och sydvästra kusten. Ekot vid kusten är på vissa platser över 40 dBZ, vilket betyder att bymolnen troligen producer hagel. I METAR-observationerna från Helsingfors-Vanda flygfält (Bilaga 2b) kan man se att det förekom bymoln och måttliga regnskurar, men ingen information om åska.



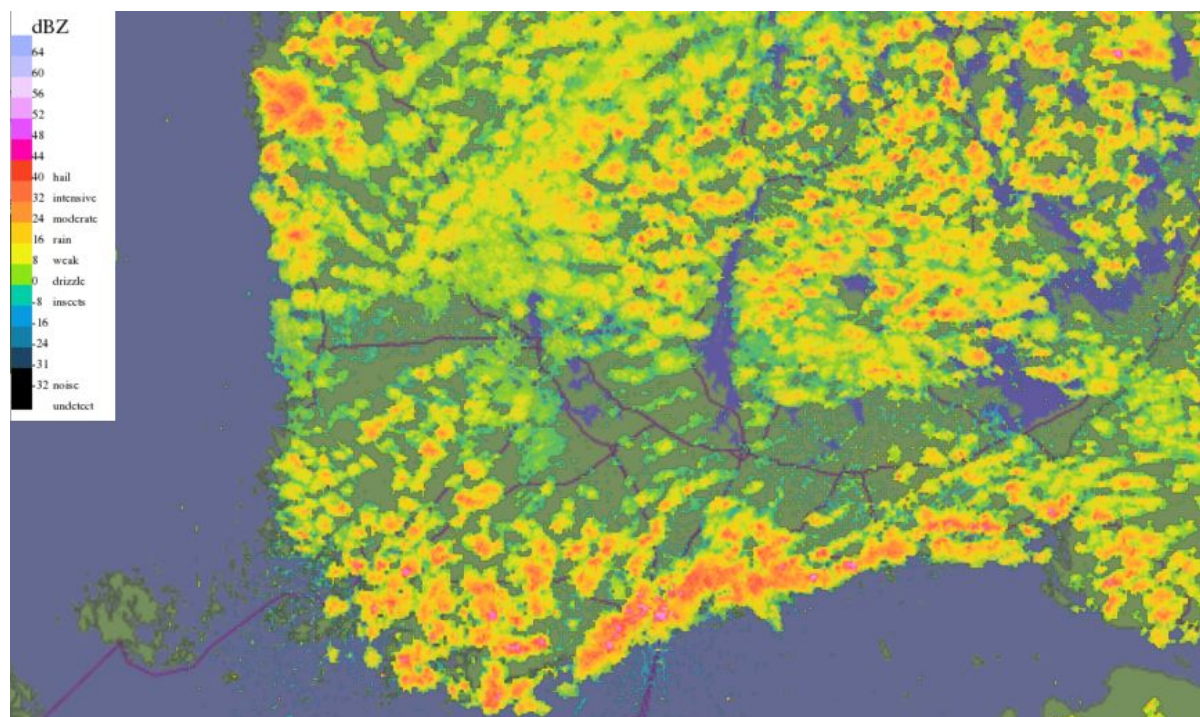


Bild 5.2.3: Radarbild (PPI) över södra Finland den 23 april 2016 klockan 10:45 UTC. Färgkoderna står för: svart; störning eller ingen data, från blå till röd; nederbörd var blå är svag och röd är kraftig nederbörd och violett indikerar på hagel. Bilden är hämtad från Meteorologiska institutets arkiv (<http://radar.fmi.fi>).

Från sonderingen i Jockis (Bilaga 2c) kan man förstå hurdan luftmassa som befann sig över södra Finland. Man kan se att temperaturprofilen i Jockis är relativt stabilt vilket också syns i LI-värdet, som var 3,68. Om man jämför med radarbilden (Bild 5.2.3) från själva händelsen kan man se att bymolnen förekom mest längs kusten och inte lika mycket vid Jockis. Detta betyder också att temperaturprofilen troligen var instabil längs kusten där bymolnen förekom. Eftersom temperaturprofilen i Jockis (Bilaga 2c) var stabil, blir också alla andra index-värden låga. CAPE fick värdet 5,53 J/kg och CIN fick värdet -0,34 J/kg. Nivån för fri konvektion var på 855,8 hPa höjd och jämviktsnivån på 760,9 hPa höjd. Alla värden och index är låga vilket indikerar på att konvektionen vid Jockis klockan 12 UTC blev smått. Om ett bymoln utvecklas på basen av sonderingen i Jockis så skulle bymolnets topp befinna sig på 2100 fots höjd och ha temperaturen -13°C. Men eftersom temperaturprofilen bara är relativt stabil klockan 12 UTC kan det betyda att profilen var labil klockan 10:45 UTC vid Jockis och längs Finlands kust, vilket troligen gör att alla index fick ett mycket större värde och högre höjd. Genom att undersöka temperaturprofilen vid Helsingfors med hjälp av den närmaste tillgängliga AMDAR-sonderingen (Bild 5.2.4) kan man se att temperaturprofilen ser ut att vara instabil ända upp till 20 000 fot var temperaturen var -40°C. Det instabila området

börjar ungefär vid temperaturen  $-5^{\circ}\text{C}$ , alltså på 4000 fots höjd. Genom att använda grov tolkning såsom i kapitel 5.1 *Fall 1: Den tredje januari 2017*, kan man säga att konvektionens nivå för fri konvektion var på 470 hPa höjd ( $-40^{\circ}\text{C}$ ) och jämviktsnivån var på 845 hPa höjd ( $-5^{\circ}\text{C}$ ). När man ännu undersöker vindprofilen både vid Jockis och i AMDAR-data vid Helsingfors kan man se att det förekommer vindskjuvning ända upp till 400 hPa i båda vindprofilerna, vilket betyder genom hela det instabila området.

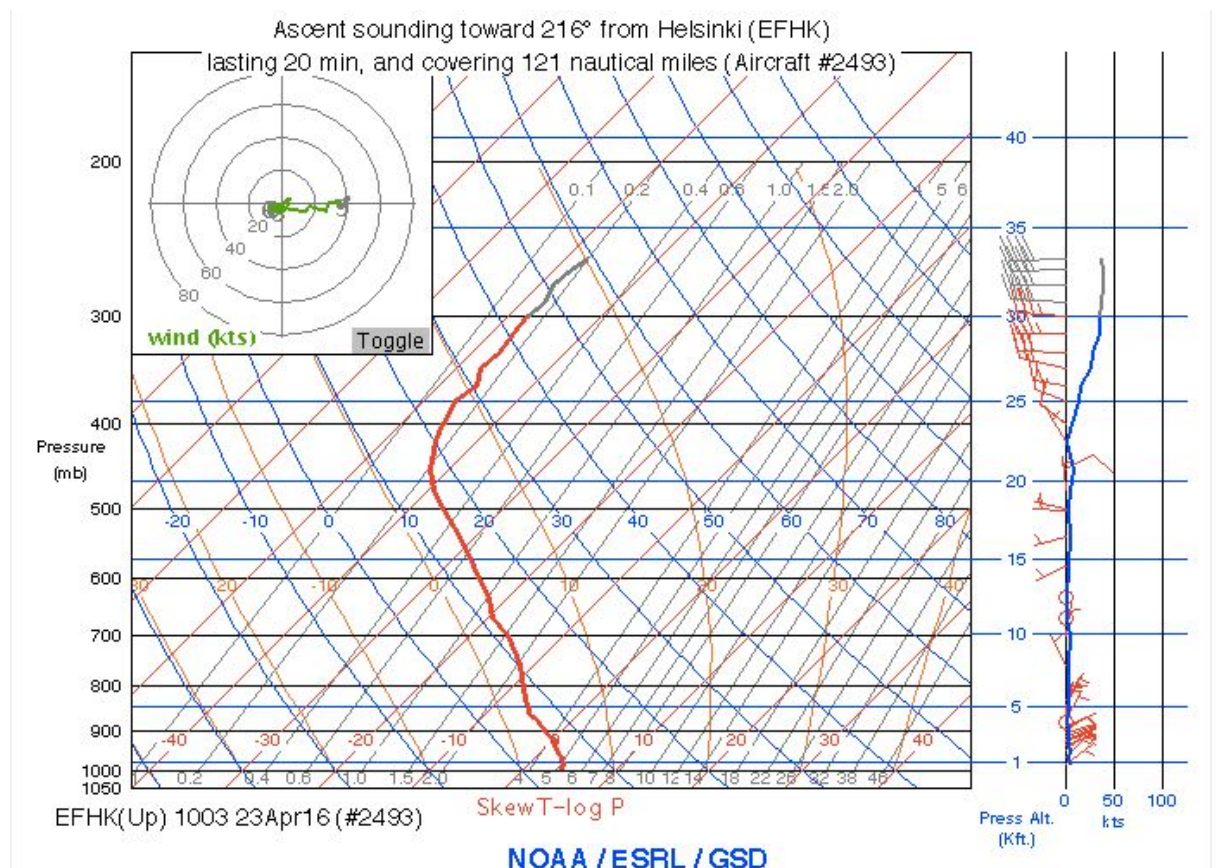
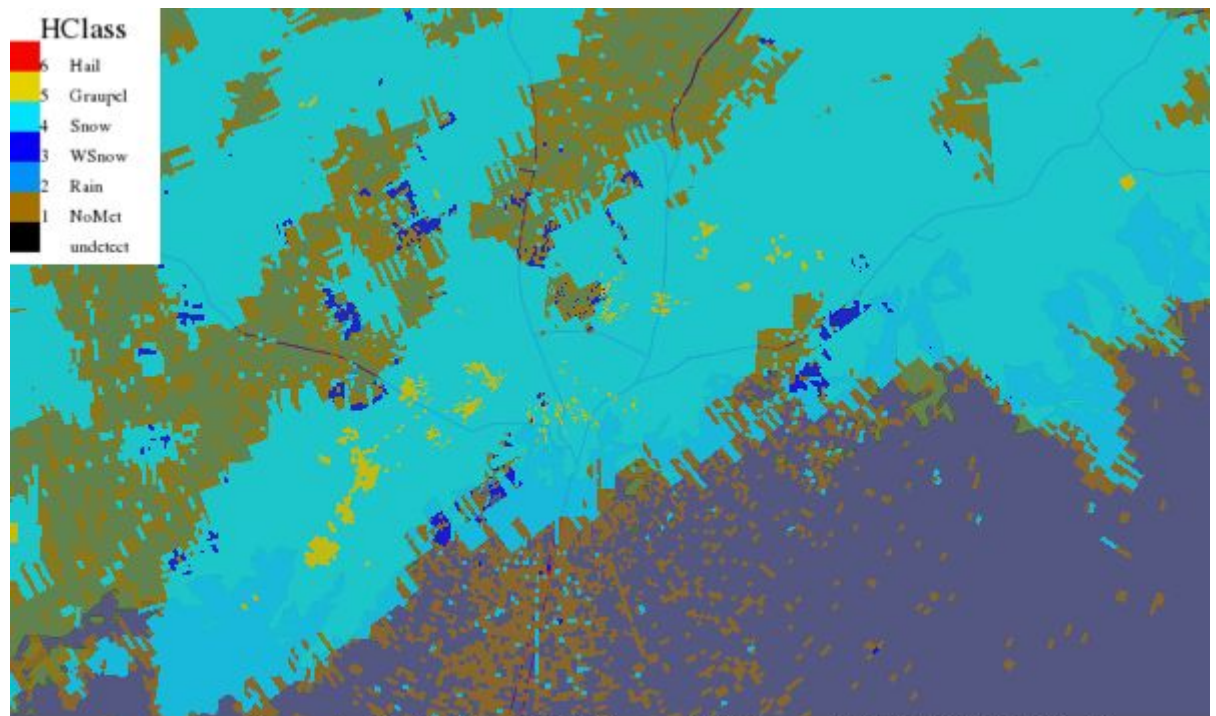


Bild 5.2.4: AMDAR-sondering (Aircraft Meteorological Data Reports) från ett stigande flygplan vid Helsingfors-Vanda flygfält den 23 april 2014 klockan 10:03 UTC. Bilden är hämtad från NOAA:s (National Oceanic and Atmospheric Administration) AMDAR-system (<https://amdar.noaa.gov/>).

Med hjälp av hydroklass radarbild (Bild 5.2.5) kan man se att det förekommer en hel del enstaka gula snöhagel områden i snömassan längs hela kusten (Bild 5.2.5). Genom att ytterligare granska tvärsnittet (riktning  $238^{\circ}$ ) av snömassan kan man se att snöhageln bildar en pelare i snömassan eller rättare sagt bymolnet, vilket betyder att det troligen förekom laddning i bymolnet (nedre delen av Bild 5.2.5). Från hydroklass radarbilden kan man se att många bymoln innehöll snöhagel vilket förklarar varför det skedde så många blixtnedslag den dagen.





PseudoRHI [HCLASS] fivan 238deg 2016/04/23 10:45

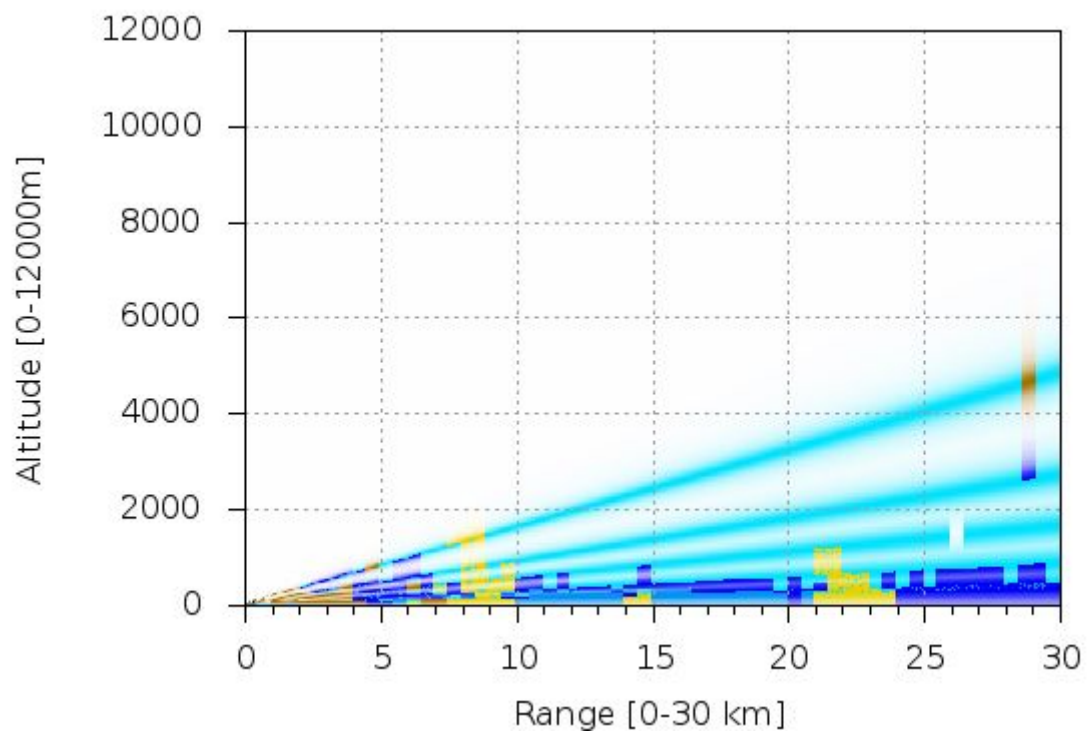


Bild 5.2.5: Hydroklass radarbild över södra kusten vid Helsingfors den 23 april 2016 klockan 10:45 UTC. Nedre bilden är tvärsnittsbilden av radarkägglan i riktning 238° från Vandas radar. Färgkoderna står för: svart och brun; störning eller ingen data, blå; snö eller vatten och gul eller röd; hagel. Bilden är hämtad från Meteorologiska institutets arkiv (<http://radar.fmi.fi>).

## 5.2.2 Flygvädersservicen

För att förstå hurdan prognos det gjordes över södra Finland och Helsingfors-Vanda flygfält så det är lättast att börja med SWC-kartan som var i kraft under händelsen (Bild 5.2.6). Från SWC-kartan kan man se att den dejourerande meteorologen har ritat ett tråg med bymoln över södra Finland. I kartan har man märkt ut att det förekommer något mellan enstaka eller lite tätare med bymoln (ISOL/OCNL CB), vilket gör att man måste begränsa området (Hirvonen, 2017). Om man jämför med radarbilden (Bild 5.2.3) så stämmer det markerade området överens med det starkaste ekot i radarbilden vilket befinner sig längs södra och sydvästra kusten. Området sträcker sig inte lika långt in mot landet som i SWC-kartan. Bymolnens höjd har förutspåtts att vara mellan 15 000 fot och 22 000 fot vilket stämmer bra med den grova tolkningen som jag gjorde från temperaturprofilen i AMDAR-datat (Bild 5.2.4). Den dejourerande meteorologen hade lagt in bymolnsgruppen en åksymbol med ordet LCA framför. LCA betyder att det kan förekomma några enstaka blixtslag, vid södra kusten. Den dejourerande meteorologen lade troligen till åksymbolen i gruppen eftersom det hade förutspåtts att bymolnen möjligen kommer att nå väldigt högt vilket ökar på risken att åska kan förekomma. Eftersom ekot vid några ställen var väldigt kraftigt på radarbilden (Bild 5.2.3) så indikerar det kraftigt på att hagel förekom med bymolnen, vilket den dejourerande meteorologen också hade förutspått med att lägga hagelsymbol i molngruppen.

Nu när prognosen över södra Finland har analyserats, kan man titta närmare på Helsingfors-Vanda flygplats egna 24 timmars TAF-prognos. Genom att titta på den första TAF:en som gjordes klockan 08:24 UTC (Bild 5.2.6), alltså 11:24 lokal tid, ser man att den dejourerande meteorologen hade för den stunden åskan förekom förutspått att det förekommer bymoln över Helsingfors-Vanda flygfält, alltså gruppen TEMPO 2309/2311 SCT030CB. Med bymolnen hade man inte förutspått något annat väderfenomen. Man kan se att i grundvädret står det beteckningen -SHRA vilket betyder svaga regnskurar förekom. TEMPO-gruppen innehåller ingen information om att det kan åska, vilket antyder på att den dejourerande meteorologen inte trodde att det skulle åska vid Helsingfors-Vanda flygfält.

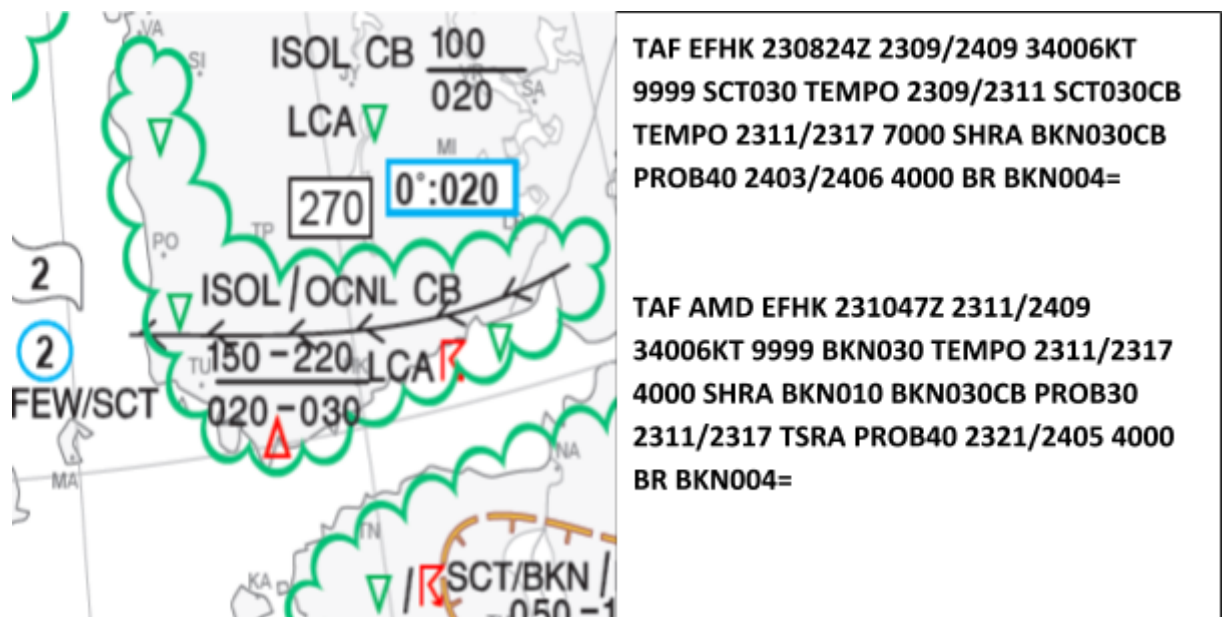


Bild 5.2.6: Till vänster södra Finlands del av SWC-kartan (Significant Weather Chart) den 23 april 2017 12 UTC och till höger finns TAF-prognoserna (Terminal Aerodrome Forecast) för Helsingfors-Vanda flygfält (EFHK) den 23 april 2016 08:24 UTC och korrigerad TAF AMD 10:47 UTC. SWC-kartan är hämtad från Meteorologiska institutets egna arkiv medan TAF:en är hämtad från Meteorologiska institutets arkiv (<http://avidb.fmi.fi>).

Klockan 10:47 UTC tid, alltså 13:47 lokal tid, gjordes det en förändring i Helsingfors-Vanda flygplats TAF. Den skiftande TEMPO-gruppen som bestod endast av bymoln fick till sig måttlig regn, som i sin tur sänkte på synfältet. Mängden bymoln hade också ändrats i prognosen från SCT till BKN, vilket betyder att det förekom en större mängd än vad som var förväntat. Till gruppen var det också tillsatt en PROB30-grupp vart åskan hade lagts till. Eftersom korrigeringen på TAF:en gjordes några minuter efter att blixten slog ner så tyder det på att åskan var en av orsakerna till att korrigeringen gjordes, eftersom den dejourerande meteorologen hade observerat att det förekom någon blixtslag även om det inte var tillagt i METAR-observationen (Bilaga 2b). Andra orsaken är att det regnade mycket kraftigare än beräknat eftersom regnet klassificerades som måttligt regn på flygplatsen, som är ett betydande väderfenomen och regnet försämrade synfältet på flygplatsen.

När man jämför båda TAF:en med varandra (Bild 5.1.6) så kan man se att måttligt regn och tätare mängd av bymoln var förutspått, vilket också förekom. Det som var mest oförväntat var att åskan förekom vid flygplatsen, eftersom det var det enda som var nytt i den korrigerade TAF:en (Bild 5.2.6). Åskan var inte helt oförväntad för den dejourerande meteorologen, eftersom det fanns i SWC-kartan en åsksymbol.

Det gjordes inte något WXWRNG-meddelande över händelsen även om åskan träffade i två landande flygplan. Det gjordes inget SIGMET-meddelande om fallet, eftersom åskan inte nådde kriterierna för ett varningsmeddelande.

### 5.3 Fall 3: Den första maj 2014

Den första maj 2014 förekom det några blixtslag nära Helsingfors-Vanda flygfält (Bild 5.3.1). Allt som allt räknades fem stycken blixtslag, varav två var blixtar som träffade marken och tre var molnblixtar. Två flygplan blev träffade av åskan. Båda hörde till bolaget Finnair och ett av flygplanen var på väg till Ivalo via Kittilä medan det andra var på väg till Uleåborg från Helsingfors-Vanda flygfält. Båda planen blev tvungna att vända om och landa tillbaka på Helsingfors-Vanda flygfält (Kekälä, 2014). Alla fem blixtslag förekom mellan klockan 08:42 och 09:45 UTC, alltså lokal tid 11:42 och 12:45. Detta fall är uppbyggd likadant som de två tidigare fallen, alltså med två underkapitel. Det första underkapitlet handlar om synoptiska vädret medan det andra underkapitlet handlar mera prognoserna inom flygvädersservicen vid stunden av blixtslaget. Materialet som användes för detta fall är nämnt i kapitel 4. *Material*.

#### 5.3.1 Synoptisk situation

Nära Helsingfors-Vanda flygfält förekom det fem stycken blixtslag den första maj 2014. Blixtslagen förekom mellan 08:42 och 09:45 UTC (Bild 5.3.1), varifrån jag valde klockslaget 08:40 UTC, eftersom då förekom det två blixtslag varav ett träffade flygplanet som var på väg mot Kittilä. Genom att analysera det synoptiska tillståndet som varade över södra Finland får man en helhetsbild av vädret, var efter det är lättare att analysera Helsingfors-Vanda flygplats väderförhållande. Från analyskartan som gjordes för den första maj 2014 klockan 12 UTC (Bild 5.3.2) kan man se att det synoptiska tillståndet väldigt mycket liknar det synoptiska tillståndet i kapitel 5.1 *Fall 1: Den tredje januari 2017*. I kapitel 5.1 *Fall 1: Den tredje januari 2017* förekom det ett lågtryckscentrum söder om Finland såsom också i detta fall. Skillnaden är att i kapitel 5.1 *Fall 1: Den tredje januari 2017* var centrumet norr om Gotland medan den första maj 2014 var centrumet över östra delen av Estland.

|            |              |                 |   |
|------------|--------------|-----------------|---|
| 2014-05-01 | 08:42:10.538 | 60.3363 24.9768 | G |
| 2014-05-01 | 08:42:10.550 | 60.3923 25.1611 | C |
| 2014-05-01 | 08:52:33.805 | 60.3498 24.9606 | G |
| 2014-05-01 | 08:52:33.807 | 60.5031 24.7754 | C |
| 2014-05-01 | 09:45:34.161 | 60.3411 25.0442 | C |

Bild 5.3.1: Blixt-observationer i Finland den 01.05.2014. Bilden innehåller information i följande ordning: datum, klockslag, koordinater och vilken typ av blixt (molnblixt C eller markblixt G). Hämtad från Meteorologiska institutets egna arkiv.

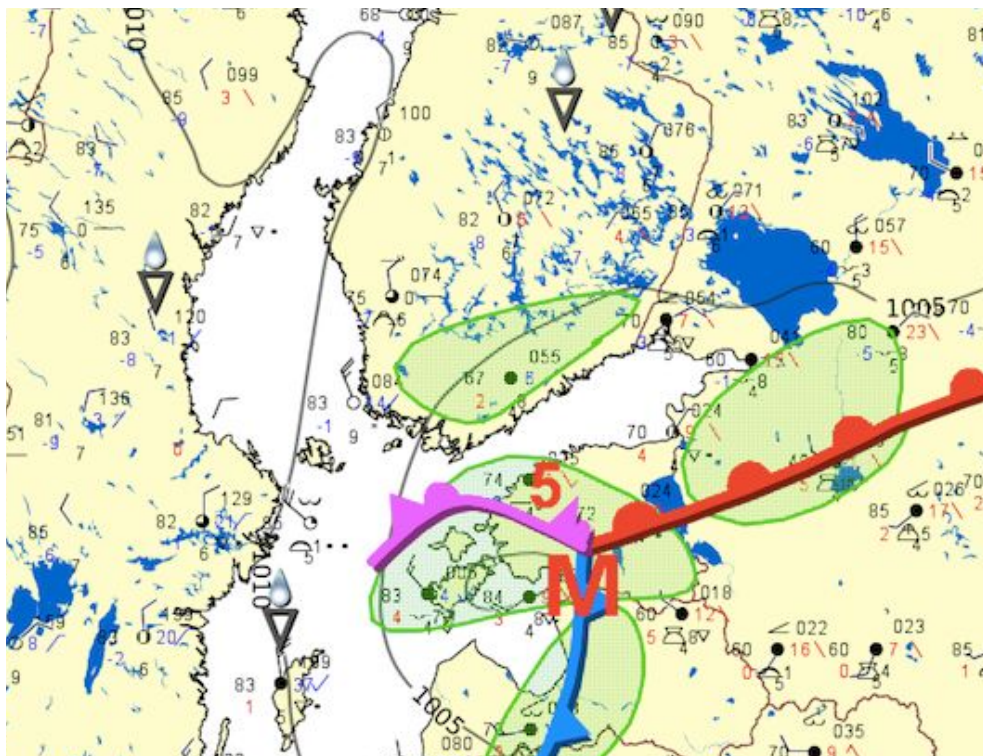


Bild 5.3.2: Den synoptiska analyskartan över Skandinavien den första maj 2014, klockan 12 UTC. Gröna området indikerar regn. Hämtad från Meteorologiska institutets egna arkiv.

Lågtryckssystemet tryckte på med ett tjockt molntäcke över södra Finland (Bild 5.3.2), vilket man kan se från till exempel radarbilden (Bild 5.3.3). Från radarbilden kan man tydligt se det stora ekot som befinner sig över södra Finland. Man kan också se från radarbilden att det förekom enstaka bymoln vid Helsingfors, eftersom ekot är mycket kraftigare vid Helsingfors än vad den är över hela södra Finland. Ekot vid Helsingfors är närmare 50 dBZ, vilket också indikerar på att bymolnen möjligen producerade hagel. Man kan också se från båda METAR-observationerna (Bilaga 3c) att det förekom bymoln, eftersom observatören hade lagt ordet CB bland molnen i kodraden.



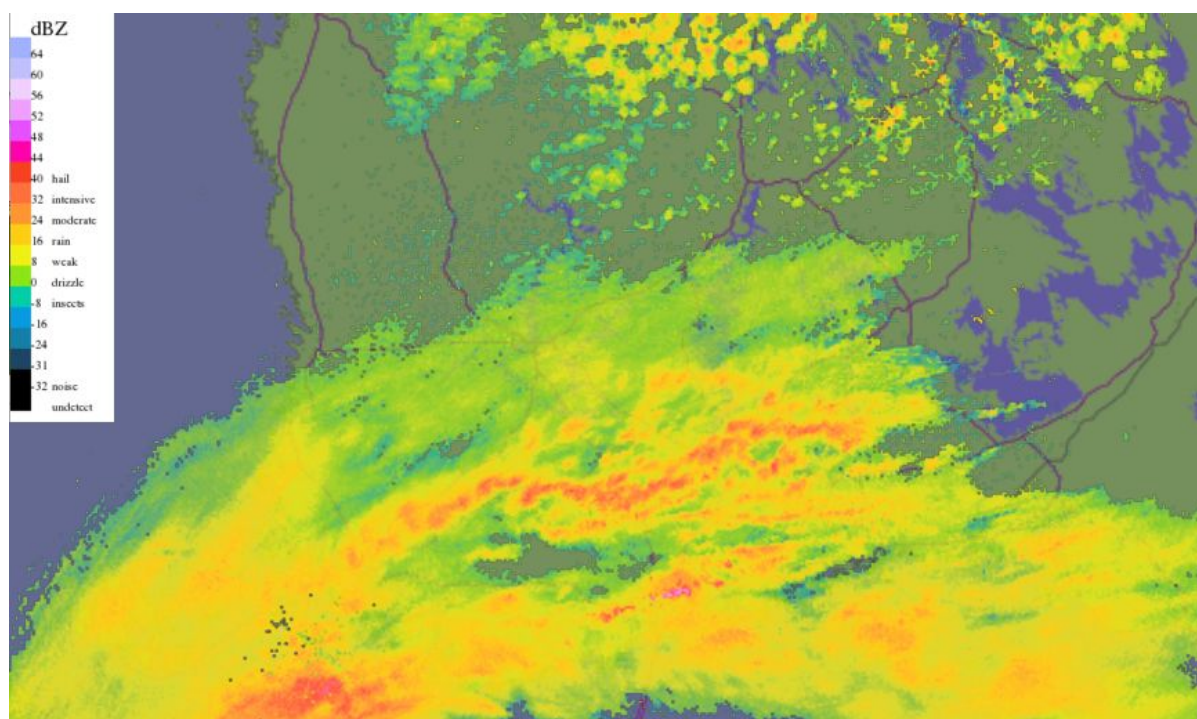


Bild 5.3.3: Radarbild (PPI) över södra Finland den första maj 2014 klockan 08:40 UTC. Färgkoderna står för: svart; störning eller ingen data, från blå till röd; nederbörd var blå är svag och röd är kraftig nederbörd och violett indikerar på hagel. Bilden är hämtad från Meteorologiska institutets arkiv (<http://radar.fmi.fi>).

Om man undersöker vindprofilen i den närmaste gjorda AMDAR-sonderingen (Bild 5.3.4) vid Helsingfors-Vanda flygfält kan man se att vindriktningen var i den nedre delen av troposfären från sydost vilket är en lämplig riktning för sjösnöeffekten. Från radarbilden (Bild 5.3.3) är det svårt och säga om sjösnöeffekten förekom med lågtrycksområdet, så därför måste man undersöka om Finska viken var ofryst och om det förekom någon slags kall advektion från sydost. Från iskartan (Bilaga 3e) kan vi se att Finska viken var ofryst och havsytans temperatur var ungefär 6°C varm. För att kunna veta vad temperaturen var på 850 hPa höjd sydost om Finska viken måste man använda sig av Sankt Petersburgs sondering och inte Tallinns, eftersom man gör bara en mätning om dygnet i Tallinn, som är klockan 00 UTC. Detta gör att Sankt Petersburg 12 UTC sondering är den närmast till blixtslaget. Från sonderingen som gjordes den första maj 2014 klockan 12 UTC i Sankt Petersburg (Bilaga 3d) kan man se att temperaturen på 850 hPa höjd var ungefär -4°C, vilket gör att temperaturskillnaden var ungefär 10°C, vilket är mindre än tumregelns minimivärde, som nämndes i kapitel 2.3 *Sjösnöeffekt*. Enligt tumregeln förekommer det ingen sjösnöeffekt över Finska viken, men eftersom det är bara en tumregel så finns det en möjlighet att det förekom sjösnöeffekt över



Finska viken. Alla tillstånd är lämpliga men det är bara temperaturskillnaden som blir 3°C för litet.

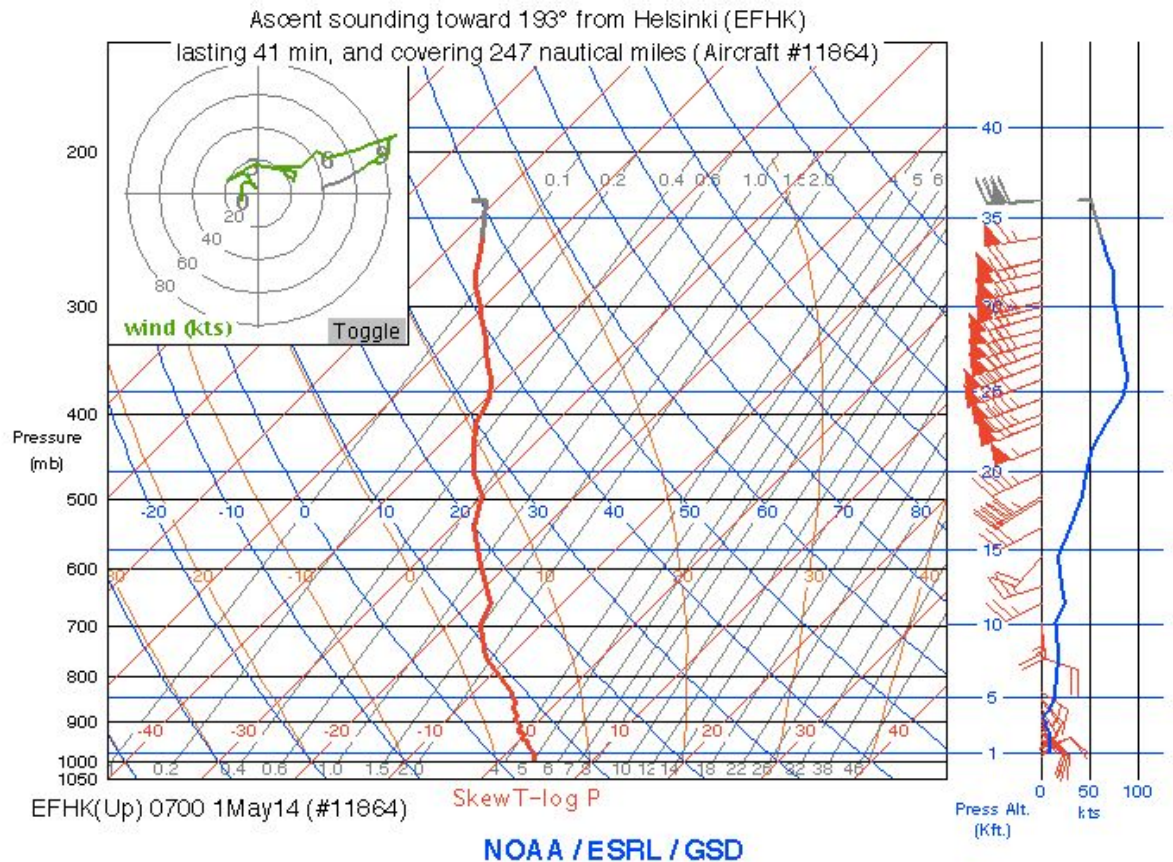


Bild 5.3.4: AMDAR-sondering (Aircraft Meteorological Data Reports) från ett stigande flygplan vid Helsingfors-Vanda flygfält den första maj 2014 klockan 07:00 UTC. Bilden är hämtad från NOAA:s (National Oceanic and Atmospheric Administration) AMDAR-system (<https://amdar.noaa.gov/>).

För att förstå luftmassan som fanns över södra Finland är det bäst att undersöka sonderingen vid Jockis klockan 12 UTC den första maj 2014 (Bilaga 3c). Man kan se att temperaturprofilen är relativt stabil, vilket syns från LI-värdet, som var 4,80. Eftersom temperaturprofilen är stabil kommer också alla andra index få ett lågt värde. CAPE fick värdet 1,38 J/kg och CIN fick 0 J/kg. Nivån för fri konvektion var på 936,0 hPa höjd och jämviktsnivån var på 881,0 hPa höjd (Bilaga 3c). Detta betyder att det förekom ett litet instabilt område nära gränsskiktet. Genom att undersöka vindprofilen i Jockis kan man märka att det inte förekommer något vindskjuvning i nästan hela troposfären förutom något svagt under 800 hPa höjd. När man sedan undersöker profilen vid Helsingfors med hjälp av den närmaste gjorda AMDAR-sonderingen (Bild 5.3.4) kan man se att det förekommer ett instabilt område ungefär mellan 850 hPa (-5°C) och 700 hPa (-16,6°C) höjd. Genom grov tolkning kan man säga att nivån för fri konvektion befinner sig på 4800 fots höjd och temperaturen är -5°C och respektive jämviktsnivån befinner sig på

9900 fots höjd med temperaturen  $-17^{\circ}\text{C}$ . Om man ytterligare undersöker vindprofilen i AMDAR-datat kan man se att det förekommer kraftig vindskjuvning från markytan ända upp till 700 hPa höjd.



PseudoRHI [HCLASS] fivan 58deg 2014/05/01 08:40

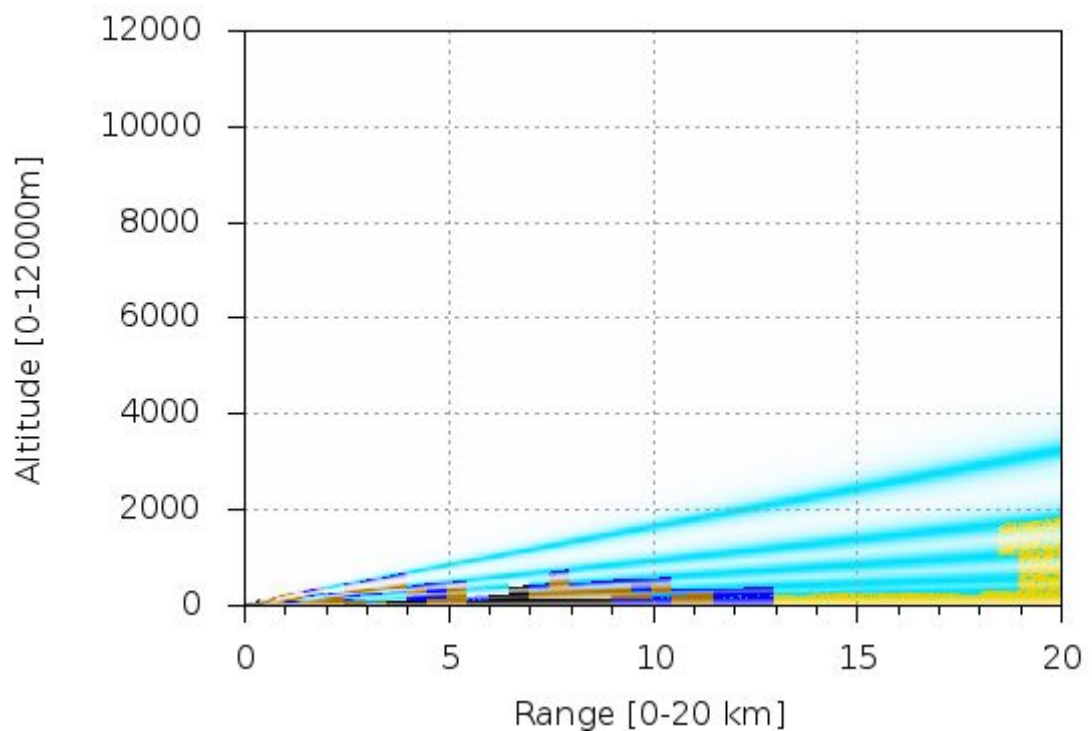


Bild 5.3.5: Hydroklass radarbild över södra kusten vid Helsingfors den första maj 2014 klockan 08:40 UTC. Nedre bilden är tvärsnittsbilden av radarkägeln i riktning  $58^{\circ}$  från Vandas radar. Färgkoderna står för: svart och brun; störning eller ingen data, blå; snö eller vatten och gul eller röd; hagel. Bilden är hämtad från Meteorologiska institutets arkiv (<http://radar.fmi.fi>).

Med hjälp av hydroklass radarbild (Bild 5.3.5) kan man se att det förekom gula snöhagel områden norr om själva radarn (Bild 5.3.5), varav det största området är ungefär vid Helsingfors-Vanda flygfält. Genom att undersöka tvärsnittet av radarkäglan (riktning 58°) kan man se att det förekommer en pelare av snöhagel inne i snömassan (nedre delen av Bild 5.3.5), vilket orsakar att det förekommer laddning i molnet som sedan gav upphov till två blixtar varav en träffa ett flygplan.

### 5.3.2 Flygvädersservicen

När vädret är analyserat är det dags att titta närmare på själva flygvädersservicen och hurdan prognos som gjordes för fallet. För att förstå prognoserna bättre är det lättast att först analysera prognosen över södra Finland. Från SWC-kartan som gjordes 12 UTC den första maj 2014 (Bild 5.3.6) kan man genast se att lågtryckscentrumet placerades söder om Finland, ovanför Estland, vilket stämmer överens om man jämför med analyskartan (Bild 5.3.2). Man kan också se att fronterna stämmer överens mellan kartorna. När man tittar närmare på södra Finlands område i SWC-kartan (Bild 5.3.6) kan man se att det förutspåddes bymoln som kommer att vara inblandad i molnmassan, eftersom bymolnen hade beteckningen EMBD framför sig. Detta stämmer överens med radarbilden (Bild 5.3.3) varifrån man kunde se att bymolnen var inblandad i det stora ekot. Framför bymolnen finns det beteckningen LCA på SWC-kartan vilket betyder att det bara förutspåddes ett fåtal bymoln nära Helsingfors som nådde ända upp till FL120 (12 000 fot). Höjden stämmer bra överens med min grova tolkning som jag gjorde från temperaturprofilen i AMDAR-datat (Bild 5.3.4). I SWC-kartan finns det ingen symbol om åska över södra Finland vilket tyder på att den dejourerande meteorologen inte trodde att det skulle förekomma någon åska överhuvudtaget. Troligen fick ingen åskindikator i modellerna något värde för åskan, eftersom bymolnens bottentemperatur var allt för kall och topptemperatur allt för varm, som konstaterades i förra kapitel. SWC-kartan ser annorlunda ut än i de två andra fallen och det är på grund av att Meteorologiska institutet började göra samarbete med SMHI från Sverige år 2015 och samtidigt ändrade man på kartans struktur.

När man vet hurdan prognos det gjordes över södra Finland kan man titta noggrannare på Helsingfors-Vanda flygplats egna 24 timmars TAF-prognos. Den första TAF:en (Bild 5.3.6) gjordes ungefär fem till tio minuter före blixten slog i flygplanet. Den

dejoureranden meteorologen hade förutspått att vid stunden av blixtslaget skulle det förekomma bymoln och måttliga regnskurar bland det normala och svaga regnet. Efter att blixten hade slagit sig i flygplanet satt observatören till åska i METAR-observationen (Bilaga 3c) eftersom åskan förekom inne på flygfältets område. Efter att METAR-observationen anlände med åska i meddelande korrigerade den dejourerande meteorologen Helsingfors-Vanda flygplats TAF. Han lade till en två timmars TEMPO-grupp med beteckningen TSRA och bymoln. TSRA betyder att det förekommer åskskurar. Den dejourerande meteorologen visste att det förekommer bymoln över södra Finland och över Helsingfors-Vanda flygfält, men var överraskad av att det förekom en blix.

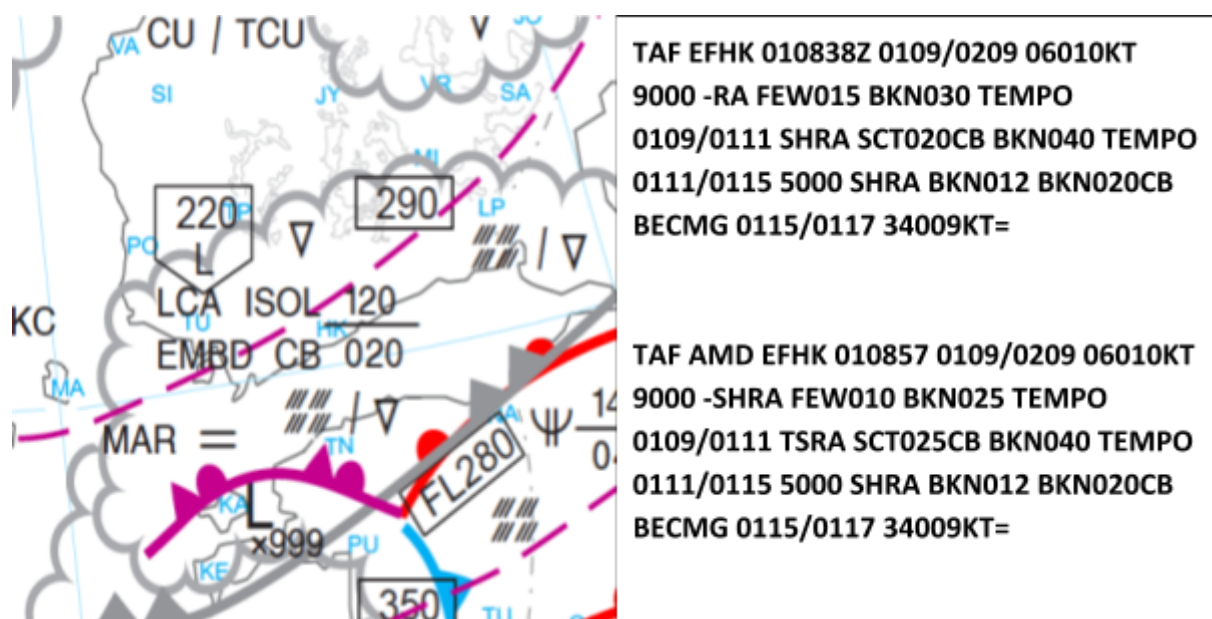


Bild 5.3.6: Till vänster södra Finlands del av SWC-kartan (Significant Weather Chart) den första maj 2014 12 UTC och till höger finns TAF-prognoserna (Terminal Aerodrome Forecast) för Helsingfors-Vanda flygfält (EFHK) den första maj 2014 08:38 UTC och korrigerad TAF AMD 08:57 UTC. SWC-kartan är hämtad från Meteorologiska institutets egna arkiv medan TAF:en är hämtad från Meteorologiska institutets arkiv (<http://avidb.fmi.fi>).

Eftersom åskan förekommer i den andra METAR-observationen (Bilaga 3b) så betyder det att åska var på flygfältets område vilket sedan betyder att det borde ha gjorts ett WXWRNG-meddelande över händelsen. Orsaken till att det inte fanns ett meddelande är att anmälningar om blixträffar i flygplan gjordes inte före 2015 (Ylläsjärvi, 2017). Det gjordes inget SIGMET-meddelande över fallet, eftersom åskan inte fyllde kriterierna.

## 6. Diskussion

Detta kapitel handlar om mina tankar om mina tre fall och resultaten från andra forskningar gällande kalla perioders åska. Teorin om åska som används under varma perioder går inte att använda på likadant sätt under kalla perioder, vilket man kan se i mina fall. Åska under kalla tider förekommer sällan i Finland och blixntalet per händelse är oftast mycket mindre än vad det är under varma perioder. Både under varma och kalla perioder händer det att en blix slår ner i ett flygplan. Det beror på att flygplanet fungerar som en utomstående ledare till spänningen i molnet. I mina fall förekom det 14 stycken blixlar, var av fem stycken träffade flygplan. Detta gör att procenten för blixslag i flygplan är ungefär 35 %. I Nederländerna är procenten för blixslag i flygplan 40 % (Hemink m.fl., 2007). En möjlig orsak till att procenten är lite högre i Nederländerna är att kalla perioders åska förekommer oftare i Nederländerna och att flygaktiviteten är mycket större nära Nederländernas flygfält (Hemink m.fl., 2007) än vad det är runt Finlands flygfält. Ju fler flygplan desto större chans att en blix träffar i något flygplan.

I alla mina tre fall undersökte jag vädret från olika synvinklar. På grund av att kalla tiders åska förekommer så sällan i Finland, kan det oftast vara svårt att få bra observationer för att forska grundligt inom ämnet (Schultz & Vavrek, 2009). De observationerna som man har tillgång till befinner oftast sig på ett längre avstånd från själva platsen eller är gjorda någon timme före eller efter åskhändelsen. Detta skapar en felmarginal i undersökningen som man måste ta i beaktande. I alla mina fall förekom det ett blixslag i ett landande eller stigande flygplan. Alla flygplanen som avgick från Helsingfors-Vanda flygfält återvände tillbaka genast efter blixträffen.

För att förstå när ett bymoln under kalla perioder ger upphov till åska kräver det att man förstår tillstånden i luftmassan. Eftersom atmosfärens profilobservation görs så sällan och på så få platser så skapar det ett litet problem med att få exakta värden och en rätt uppfattning om luftmassan. Det gör analyserandet mera krävande. Närmaste radiosondmätning befinner sig i Jockis till Helsingfors-Vanda flygfält, var sonderingen görs bara två gånger om dygnet. Efter Jockis är Tallinn den näst närmaste platsen, var man bara gör en mätning per dygn. Mellan Tallinn och Helsingfors finns dock Finska

viken vilket gör att väder tillstånden varierar mycket på båda sidorna av viken. Ett fenomen som kan påverka bara ena kusten är till exempel sjösnöeffekten. Från mina fall märkte jag att observationen från Jockis inte är alltid det lämpligaste för att analysera atmosfärens tillstånd vid Finlands södra kust, eftersom alla väderfenomen inte når Jockis. Detta gör att det förekommer en skillnad i vädret mellan till exempel Helsingfors och Jockis. Jag märkte att det i två av mina fall förekom sjösnöeffekt som täckte endast södra kusten och Helsingforsregionen. Detta kan man se tydligt från radarbilden den tredje januari 2017 (Bild 5.1.3) som finns i kapitel 5.1 *Fall 1: Den tredje januari 2017*. Detta gjorde att atmosfärens profil var helt annorlunda vid Jockis än vad den är vid Helsingfors, vilket skapar stora luckor i observationerna gällande platsen. En orsak varför det inte görs radiosondmätningar närmare Helsingfors-Vanda flygfält är för att väderballongen skulle skapa fara och ändringar i flygschemat och i flygrutten (Saltikoff, 2018).

Precis av denna orsak har NOAA skapat AMDAR-systemet, för att inte skapa fara eller problem för flygtrafiken. Dock är inte AMDAR-systemet det bästa och innehåller en del brister som redan nämndes i kapitel 4. *Material*, men själva systemet har potential varifrån man skulle kunna utveckla det framåt. AMDAR-systemet är NOAA:s uppfinning vilket också märks på att största mängden observationer kommer från Nordamerika, vilket man kan också se tydligt på antalet observationer (NOAA, 2014). Från några delar av Asien och Europa finns det en del observationer men inte lika mycket. Till AMDAR-systemet hör också andra flygbolag än bara amerikanska flygbolag som till exempel Finnair, som flyger som mest i Finland. Genom att börja kalibrera instrumenten och tillägga fuktighetsmätare i flera flygplan, skulle man kunna få mycket bättre observationen (NOAA, 2014). Genom att utöka systemet skulle också antalet observationer öka och utökande av AMDAR-systemet skulle ge möjligheten till bättre observationer gällande plats och tid, eftersom flygaktiviteten pågår dygnet runt över hela jordklotet. Man skulle även få möjlighet till mera observationer från områden varifrån det oftast är svårt att få observationer, som till exempel från ovanför haven (de Haan, 2011). Utökande av AMDAR-systemet skulle förbättra förutsättningarna för att forska om kalla tiders åska i framtiden.

Trots svårigheterna med att få perfekta observationer, har jag lyckats få en uppfattning om det synoptiska vädret och tillstånden i atmosfären i mina fall. Jag märkte



att alla mina fall är lite olika från varandra, men de innehåller liknande drag. I två av fallen förekom det ett lågtryckssystem söder om Finland som skapade sjösnöeffekt över södra Finlands kust. Själva lågtryckssystemet är inte orsaken till bymolnens uppkomst utan lågtrycket fick vindriktningen att blåsa från en lämplig riktning. Den kalla advektionen som vinden hämtade rörde sig över den ofrysta Finska viken, som sedan skapade sjösnöeffekten över Finlands södra kust, som utvecklade snöbyar och åska. I det tredje fallet förekom det ett tråg över södra Finland som skapade en hel del bymoln över södra Finland. Om man jämför fallen med varandra ser man att flest blixtar förekom med tråget. Vindskjuvningen var som starkast den 23 april 2016 med tråget som troligen var en av orsakerna till stark konvektionen som gav upphov till flest blixtslag. Baserat på de tre fallen skulle jag säga att två synoptiska väderfenomen som hämtar risk för kalla perioders åska över Finland är sjösnöeffekt eller kall advektion och ett tråg längs markytan. Det förekommer inte alltid åska med sjösnöeffekten, eftersom jag märkte i mina fall att bymolnen som utvecklas från sjösnöeffekten var mycket svagare och lägre än bymolnen som förekom med tråget. Svagare bymoln minskar på blixstens utveckling. Förstås förekommer det inte alltid åska med ett tråg, men möjligheten är större eftersom konvergensen skapar bättre tillstånd för utvecklande av konvektion. Förstås är det svårt och säga på basen av mina tre fall att är de här två de enda synoptiska orsakerna till kalla perioders åska i Finland. Därför måste man fortsätta undersöka kalla tiders åskhändelser för att kunna göra en bättre slutsats.

Förstås räcker det inte bara att undersöka synoptiska tillståndet, det är också viktigt att undersöka atmosfärens tillstånd och alla index som hjälper förutspående av åska under varma perioder. Detta ger också en bättre bild vad som möjligen gäller under kalla perioder. Med hjälp av AMDAR-mätningarna märkte jag instabila området som förekommer med bymolnen under varma perioder, förekommer någorlunda under kalla perioder, men är ett mycket mindre område. Även om det förekommer ett instabilt område i temperaturprofilen så fungerar inte teorin som används under varma perioder lika bra under kalla perioder. Under varma perioder används CAPE som en storhet som berättar om konvektion. Samma index fungerar dock inte likadant under kalla perioder. Orsaken är att då åskan slår till under kalla perioder är CAPE-värdet väldigt lågt (Mäkelä m.fl., 2013). CAPE-värdet var i mina fall 0,7 J/kg, 5,53 J/kg och 1,38 J/kg, vilket är lågt i varje händelse. När man jämför CAPE-värdena från mina fall med vad CAPE-värdet

borde vara under varma perioder kan man märka att det är stor skillnad. Såsom det nämndes i kapitel 2.1 *Djup konvektion* skall CAPE vara kring 100 J/kg under varma perioder i Finland för att det skall åska (Punkka, 2009). Enligt observationerna jag fick från Jockis borde ingen konvektion ha förekommit i mina fall i södra Finland, eftersom temperaturprofilen var stabil i varje fall vid Jockis och därför blev också CAPE-värden väldigt låga. Det är förstås viktigt att komma ihåg att CAPE-värden jag använder är från Jockis, vilket betyder att platsen och tiden är inte från den exakta stunden eller platsen var åskan förekom.

En annan storhet som används för att förutspå åska under varma perioder är jämviktsnivån. Tumregeln är att molnets topp, alltså jämviktsnivån skall vara kallare än  $-20^{\circ}\text{C}$  så att det kan bilda ett laddning ovanför blandfas området, som är mellan  $0^{\circ}\text{C}$  och  $-20^{\circ}\text{C}$  (Bright m.fl., 2005). I mina fall var alla jämviktsnivån på olika höjder. Då tråget förekom var jämviktsnivån högt uppe i troposfären på 20 000 fots höjd. I de två andra fallen då sjösnöeffekten förekom var jämviktsnivån på 10 000 fots höjd och på 9900 fots höjd. Då tråget förekom var jämviktsnivån så högt att den hade som temperatur  $-40^{\circ}\text{C}$  medan i de två lägre fallen var temperaturen  $-22^{\circ}\text{C}$  respektive  $-16^{\circ}\text{C}$ . Ett av de svagare bymolnsfallen blev under tumregeln, med andra ord varmare än  $-20^{\circ}\text{C}$ , vilket motstrider teorin om laddningens utveckling i bymolnet. Nivån för fri konvektion hade som temperatur i två av mina fall ungefär  $-5^{\circ}\text{C}$ . I det tredje fallet var nivån för fri konvektion mycket högre upp och hade temperaturen  $-15^{\circ}\text{C}$ , vilket gör att blandfas området i detta fall blev väldigt smalt. I Nederländerna märkte KNMI samma sak, jämviktsnivån var inte i alla åskhändelser kallare än  $-20^{\circ}\text{C}$  (Hemink m.fl., 2007). Från att analysera nivån för fri konvektion och jämviktsnivån skapar det här en fråga om flygplan har en större roll som en utomstående ledare då bymolnen blir svaga, då jämviktsnivån är varmare än  $-20^{\circ}\text{C}$  (Mäkelä m.fl., 2013)?

Genom att analyserar nivån för fri konvektion och jämviktsnivån märkte jag att åskindikatorerna som är gjorda för våra modeller fungerar bäst under varma perioder och inte under kalla perioder. Såsom det redan nämndes i kapitel 2.4 *Modeller inom flygvädersservicet på Meteorologiska institutet*, baserar sig två av våra åskindikatorer på temperaturskillnaden mellan bymolnets topp- och bottentemperatur. Kravet är att bymolnets topp måste vara som varmast  $-20^{\circ}\text{C}$  och bymolnets botten som kallast  $0^{\circ}\text{C}$  (Ylläsjärvi, 2017). Med hjälp av mina tolkningar på temperaturprofilen i



AMDAR-mätningen märkte jag att bymolnets bottentemperatur i mina fall var som varmast  $-5^{\circ}\text{C}$ , vilket är kallare än indikatorns kriterie. Detta gör att indikatorn inte får något värde för åska under kallare perioder, eftersom åskindikatorn inte uppfattar att bymolnet i dessa händelser kan ge upphov till åska. Jag märkte även att bymolnets topp temperatur inte fungerar likadant, eftersom i ett av mina fall var temperaturen på jämviktsnivån  $-16^{\circ}\text{C}$  som är varmare än  $-20^{\circ}\text{C}$ , vilket gör att indikatorn inte heller skulle fungera vid denna händelse, även om bottentemperaturen är inom kriteriet. Den tredje åskindikatorn som vi använder på Meteorologiska institutet i Finland basera sig teorin bakom djup konvektionen, med andra ord fuktighet, instabilitet och lyfte som uppstår från instabiliteten (Ylläsjarvi, 2017). Jag tror att denna åskindikator fungerar inte heller lika bra under kalla perioder, eftersom bymolnen kan bli svaga och låga vilket skulle betyda att instabiliteten skulle bli lågt vilket sedan skulle betyda att lyftet blir svagt vilket sedan skulle betyda att indikatorn får ett lågt värde.

Jag märkte att det vid varje fall förekom minst svag vindskjuvning i nedre delen av troposfären vilket täckte över det instabila området. Detta hjälpte troligen till med bymolnens utveckling och laddning i molnet. Ingen av åskindikatorerna tar hänsyn till vindskjuvningen. Om man skulle kombinera vindskjuvning med någon av de tre åskindikatorerna skulle man möjligen kunna förutspå bättre kalla perioders åska. Dock skulle det kräva att åskindikatorerna skulle vara modifierade så att de skulle fungera bättre under kalla perioder. Åskindikatorn skulle också ta hänsyn till låga och svagare bymoln som troligen utvecklar en blixtnått flygplan flyger förbi på nära håll (Mäkelä m.fl., 2013). Det är förstås omöjligt för modellen att ta flygaktiviteten i beaktande eftersom den ändrar sig varje minut på basen av pilotens omdöme om flygrutten och flygvärdet, men en riskindikator skulle vara möjligt i framtiden.

I en forskning i USA (Kumjian & Deierling, 2015) och i en forskning i Finland (Saltikoff m.fl., 2016), märkte man från radarn en ökning av mängden snöhagel i bymolnet i samband med åskan, som man tydligt också kan se i mina fall (Bild 5.1.5, Bild 5.2.5 och Bild 5.3.5). Ökningen indikerar starkt på att det finns möjlighet att molnet är laddat. Genom att följa radarbilderna får man en bättre uppfattning om bymolnen och så kan man se om bymolnen innehåller en laddning. Utgående från radarbilden kan man analysera om det finns risk för kalla tiders åska för den närvarande stunden. Det finns dock några problem med användningen av radar. Det första problemet är att den

dejourerande meteorologen har också andra uppgifter, så meteorologen kan inte följa noggrant med bildernas uppdatering (Hirvonen, 2017). Radarbilden berättar inte heller hur stor laddningen är i bymolnet och om laddningen är tillräckligt stor för att skapa ett elektriskt utbrott med eller utan hjälp av ett nära flygande flygplan. Detta stärker frågan som forskningen i USA fundera på; finns det någon tröskel för hur stor laddningen skall vara i ett bymoln under kalla perioder, för att en blixst skall kunna utvecklas (Market m.fl., 2002)? Denna fråga fäster mera tyngd på framtidens modeller; är det möjligt att räkna ut laddningen i ett bymoln i framtiden? I framtiden kommer modellerna bli mera detaljerade, med andra ord minskar rutnätstorleken både vertikalt och horisontellt, och man uppdaterar modellernas algoritmer, vilket ger upphov till att man kan räkna noggrannare och bättre små fenomen som till exempel snöhagelns mängd i bymolnet.

I kapitel 2.5 *Andra forskningar* nämnde jag att Norge, Storbritannien och Nederländerna har skapat åskalgoritmer som de använder för att räkna ut risken för kalla perioders åska. Alla tres forskning stärker tanken om att CAPE inte är till någon nytta under kalla perioder (Mäkelä m.fl., 2013), eftersom deras algoritmer består av andra värden än CAPE.

I Nederländerna har KNMI skapat en algoritm för kalla tiders åska. Algoritmen baserar sig på tre kriterier, vilka är att frysningsnivå skall vara under 3000 fots höjd, det skall förekomma en kall advektion och att luftmassan skall vara kallare än  $-10^{\circ}\text{C}$  på 700 hPa höjd (Hemink m.fl., 2007). När KNMI testade algoritmen tyckte de att algoritmen fungerade relativt bra, dock var problemet att man inte kunde veta om modellen räknade fel för de dagarna algoritmen visade att det finns risk för åska men det inte förekom någon blixst (Hemink m.fl., 2007). Det är svårt eller rättare sagt omöjligt, att veta om risken är sann, eftersom man kan inte alltid få observationer av atmosfären för att granska tillstånden. Genom att jämför mina fall med KNMI algoritm kan man undersöka om KNMI:s algoritm fungerar i Finlands klimat.

| Krav för KNMI:s algoritm                                    | Fall 1: 03.01.2017    | Fall 2: 23.04.2016    | Fall 3: 01.05.2014    |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Frysningsnivån under 3000 fots höjd                         | Markytan              | 2650 ft               | 2200 ft               |
| Advektion av kall eller kyligare luftmassa                  | Ja                    | Nej                   | Ja                    |
| Kallare luftmassa (700 hPa nivå $T < -10^{\circ}\text{C}$ ) | $-24^{\circ}\text{C}$ | $-16^{\circ}\text{C}$ | $-16^{\circ}\text{C}$ |

Tabell 6.1: Kriterierna för KNMI:s (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) algoritm för att förutspå kalla perioders åska jämfört med värden för samma tillstånd från mina tre fall. (Hemink m.fl., 2007).

Från *Tabell 6.1* kan man se att alla mina fall passar perfekt in i två av KNMI:s kriterier för algoritmen, som är att frysningsnivån skall vara under 3000 fots höjd och temperaturen på 700 hPa höjd skall vara kallare än  $-10^{\circ}\text{C}$ . Kall advektion är det enda som inte förekommer i alla mina fall. I två av mina fall, den tredje januari 2017 och den första maj 2014, förekom det en kall advektion som utvecklade efteråt sjösnöeffekt över södra Finlands kust när kalla luftmassan rörde sig över Finska viken. I det tredje fallet, den 23 april 2016, förekom det ingen kall advektion eftersom det förekom ett tråg över södra Finland som skapade bymoln med hjälp av konvergenzonen. Om man inte fokuserar på advektions kriteriet kan man möjligen säga att KNMI:s algoritm skulle kunna fungera i Finland då det förekommer kall advektion, baserat på mina fall. Man skulle också kunna säga att algoritmen fungerar då det förekommer ett tråg, även om det inte förekommer en advektion, när alla andra kriterier passar lämpligt in. Jag tror att advektions kriteriet berättar mera om det synoptiska tillståndet som borde förekomma i Nederländerna, som man sedan skulle kunna anpassa till Finlands åskhändelser.

I Storbritannien har också Met Office skapat en algoritm som räknar ut när det finns risk att en helikopter blir utsatt för en blixträff under kalla perioder. Deras algoritm baserar sig också på tre kriterier: att medeltemperaturen mellan 2000 och 3000 fots höjd är mellan  $-6^{\circ}\text{C}$  och  $-1^{\circ}\text{C}$ , regnets intensiteten är minst fyra mm/h nära åskan och att frysningsnivån är mellan 1000 och 4500 fots höjd (Wilkinson m.fl., 2013). Om man jämför Met Office:s algoritm med KNMI:s algoritm kan man se att båda algoritmerna liknar varandra väldigt mycket, dock är värdena olika. Till exempel kräver Met Office:s algoritm att frysningsnivån är mellan 1000 och 4500 fots höjd som är högre än vad KNMI:s algoritm kräver, vilket betyder att Met Office:s algoritm kräver ett varmare klimat.

| Krav för Met Office:s algoritm   | Fall 1: 03.01.2017       | Fall 2: 23.04.2016      | Fall 3: 01.05.2014     |
|--|--------------------------|-------------------------|------------------------|
| Medeltemperatur är mellan $-6^{\circ}\text{C}$ och $-1^{\circ}\text{C}$ på 2000-3000 fot | $-11.05^{\circ}\text{C}$ | $-0.36^{\circ}\text{C}$ | $-0.6^{\circ}\text{C}$ |
| Totala regn intensiteten minst 4 mm/h  | 4,0                      | 0                       | 4,1                    |
| Frysningsnivån är mellan 1000 och 4500 ft  | Markytan                 | 2650 ft                 | 2200 ft                |

Tabell 6.2: Kriterierna för Met Office:s algoritm för att förutspå kalla perioders åska jämfört med värden för samma tillstånd från mina tre fall (Wilkinson m.fl. 2013)

Från *Tabell 6.2* kan man se att Met Office:s algoritm inte fungerar i Finland, eftersom ett av mina fall var allt för kall för algoritmen, när man jämför med frysningsnivån och

temperaturen mellan 2000 och 3000 fots höjd. Två av mina fall var lite för varma för algoritmen vilket också betyder att algoritmen inte verkar vara lämplig i Finland. Om man ytterligare jämför nederbördens intensitet kan man se att i två av mina fall var intensiteten vid Helsingfors-Vanda flygfält minst fyra mm/h vid stunden av blixtslaget (Bilaga 1a och Bilaga 3a). I det tredje fallet var intensiteten noll mm/h vid stunden av blixtslaget (Bilaga 2a), vilket betyder inget regn eller väldigt svagt regn, vilket är oväntat. När man jämför METAR-observation från nästan samma stund (klockan 10:50 UTC) (Bilaga 2b) kan man se att observatören har lagt måttlig regnskur och slaskbyar som har påverkat kraftigt på synfältet. Det betyder att observationens instrumentet på Helsingfors-Vanda flygfält möjligen har haft något fel eftersom den tycker att intensiteten är noll mm/h medan observatören på Helsingfors-Vanda flygfält tycker att det regnar måttligt. Det är svårt att säga från METAR-observationen vad intensiteten skulle kunna vara men det finns en möjlighet att intensiteten är närmare fyra mm/h, eftersom det är frågan om en måttligt regn- och slaskbyar. Om man ytterligare ser på radarbilden från samma situation (Bild 5.2.3) kan man se starka ekon nära Helsingfors-Vanda flygfält som troligen tyder på måttlig eller kraftig regnskur. Detta betyder att mina fall möjligen passar in i nederbördsriteriet för Met Office:s algoritm (Wilkinson m.fl., 2013). Det synoptiska tillståndet som oftast skapar kalla perioders åska i Storbritannien är samma synoptiska fenomen som förekommer i Nederländerna. Det handlar alltså om kall advektion från norr, som rör sig över den varma Nordsjön (Wilkinson m.fl., 2013).

Meteorologiska institutet i Norge har också skapat en ekvation som räknar ut när det finns risk att blixten kan slå till i en helikopter under kalla perioder (Køltzow, 2016). Vid det Norska havet förekommer det mycket bymolnsaktivitet och åska året om, eftersom Norska havet matas av värme och fuktighet från Golfströmmen (Schultz & Vavrek, 2009). Ekvationen som institutet har skapat heter HTI (Helicopter Triggered lightning Index) och från *Formel 2* kan man se vad ekvationen baserar sig på. Ekvationen fokuserar sig på temperaturen på 750 meters höjd (ungefär 2500 fots höjd), lyftet på 750 meters höjd, regnets intensitet och mängden låga moln (Køltzow, 2016). Tyvärr kan man inte jämföra ekvationen med mina fall eftersom ekvation kräver lyftet från 750 meters höjd. Det finns ingen observation som kan mäta lyftet i atmosfären, vilket gör att ekvationen är gjord endast för modeller. Genom att analysera ekvationen (Formel 2) kan

man se att ekvationen inte skulle fungera i Finland. Ekvationen kräver att temperaturen på 750 meters höjd skall vara mellan -6°C och -1°C, men ett av mina fall är allt för kallt för ekvationen eftersom temperaturen är ungefär -11°C på 750 meters höjd (Tabell 6.2). Institutet använder också normal åskindikator vid sidan om HTI under kalla perioder (Køltzow, 2016), vilket tyder på att deras vanliga åskindikator inte får fast på alla blixtslag som utvecklas från Norska havet.

$$HTI = \frac{T_{ind,750m} + W_{ind,750m} + Precip_{ind} + LowCloud_{ind}}{4} \quad (2)$$

Formel 2: HTI (Helicopter Triggered lightning Index) ekvationen som används hos Meteorologiska institutets i Norge. Ekvationen räknar ut när det finns risk för ett elektriskt utbrott som orsakas av en helikopter under kalla perioder. Ekvationen får ett värde mellan 0 (ingen risk) och 1 (hög risk). Ekvationen baserar sig på; temperaturen på 750 meters höjd som skall vara mellan -6°C och -1°C, största värdet på uppvindarna i närområdet då  $\min(1, W/0,75)$ , största värdet på nederbördens intensitet i närområdet då  $\min(1, precip/0,75)$  och största molntäcket i området minus närområdets minsta molntäcket (Køltzow, 2016).

Man kan tydligt se att Storbritanniens, Norges och Nederländernas algoritmer innehåller liknande drag, vilket tyder på att alla tre länder möjligen har gjort samarbete med varandra. Enda skillnaden mellan länderna är att varje ekvation och algoritm är fixerad på landets egna klimat. Nederländernas algoritm passar bäst med mina fall, men på basen av mina tre fall kan man inte ännu säga om det är ett sätt att räkna ut kalla tiders åska. Såsom jag redan tidigare nämnde måste man undersöka flera kalla åskhändelser före man kan göra en slutsat. Man kan säga att KNMI:s algoritm endast är en vägvisare som berättar vad man möjligen kan fokusera sig på när det gäller kalla perioders åska i Finland.

## 7. Slutsats

Frågan som denna avhandling svarar på var: *Kan man med hjälp av modellerna och observationer förbättra informationen om åskan under den kalla perioden nära Helsingfors-Vanda flygfält?* Svaret på frågan är ja, men det kräver en hel del. Det är svårt att säga, på basen av tre fall, en exakt slutsats gällande kalla tiders åska. För att göra en exakt slutsats kräver det att man undersöker flera åskfall. Min avhandling är mera en vägvisare inom ämnet, som berättar vad man möjligen borde fokusera på då man undersöker och förutspår kalla tiders åska.

På basen av mina fall ser det ut som att kall advektion troligen är en av de bakomliggande orsakerna till kalla perioders åska. I mina fall förekom det kall advektion

som sedan utvecklar sig till sjösnöeffekt över Finlands södra kust. Finska viken fungerade som en fuktkälla till utvecklingen av bymoln. Kall advektion behöver inte alltid förekomma med sjösnöeffekt för att skapa kalla tiders åska, räcker bara att alla tillstånd är lämpliga i luftmassan som advektionen hämtar med sig. En annan orsak till kalla perioders åska ser ut att vara ett tråg längs markytan, som sedan skapar bymolnsaktivitet längs konvergenszonen. Tråget är också ett normalt fenomen under varma perioder som orsakar kraftiga bymoln och åska.

CAPE (Convective Available Potential Energy) och jämviktsnivån (Equilibrium Level) är några storheter som man använder för att förutspå åska under varma perioder. Från mina fall kunde man se att CAPE var väldigt lågt och detta utesluter användningen av CAPE under kalla perioder. jämviktsnivån varierade också väldigt mycket mellan mina fall. I ett fall var jämviktsnivån varmare än  $-20^{\circ}\text{C}$ , som motstrider mot tumregeln som används under varma perioder. Det kan vara att ett flygplan i sådant fall fungerar som en utomstående ledare och själv orsakar det elektriska utbrottet.

Ytterligare jämförde jag mina tre fall med andra forskningar gällande kalla perioders åska, varav mina fall passade bäst in med KNMI:s (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) forskning från Nederländerna. I deras forskning hade de skapat en algoritm som tog i beaktande kall advektion, temperaturen på 700 hPa höjd och frysningnivåns höjd. Alla mina fall passade in i samtliga kriterierna förutom advektions kriteriet, vilket inte är så farligt eftersom det bara svarar på vilket synoptiska tillstånd möjligen orsakar kalla perioders åska, som är i mina fall kall advektion med sjösnöeffekt och ett tråg. Att använda KNMI:s algoritm över Finland är inte lönsamt, men deras algoritm är ett bra exempel vad man skulle kunna ta beaktande i när det gäller kalla tiders åska. Om man utvecklar en algoritm borde den basera sig på värden från åskhändelser i Finlands klimat.

Kalla tiders åska är ett kortvarigt fenomen som är svårt att förutspå. Med hjälp av radarbilder kan man se om det finns en ökning av snöhagel i bymolnet som sedan skapar en laddning och möjligen en blix. Radarbilden berättar dock inte om det kommer att åska, men kan tyda på att det finns risk. Bilden berättar bara om stunden bilden är gjord på och kan inte användas för att förutspå hur situationen kommer att se ut senare.

På grund av detta är det viktigt att man kan informera om risken på ett vettigt sätt. Systemen som är i användning i dagens läge baserar sig på ICAO Annex 3:s kontrakt, som

gör att det är svårt att meddela i ett flygvädersservice-meddelande när det finns risk för kalla perioders åska. Därför skulle man behöva ett icke-officiellt system mellan institutet och flygfälten där man skulle kunna varna för risken. På Helsingfors-Vanda flygfält skulle Airport Forecast vara ett lämpligt ställe.

Orsaken till varför kalla perioders åska är okänd, är att det oftast är svårt att få bra observationer, för att kunna analysera grundligt någon händelse så att felmarginalen skulle vara så liten som möjligt i observationerna. Genom att förbättra observationerna, som till exempel AMDAR-systemet (Aircraft Meteorological Data Reports), skulle man möjligen kunna göra stora framsteg i forskningarna gällande kalla perioders åska.

## 8. Referencer

Blanchard, D.O., 1998: Assessing the vertical distribution of convective available potential energy. *Weather and Forecasting*, 13.3, 870-877.

Bright, D.R., M.S. Wandishin, R.E. Jewell & S.J. Weiss, 2005: A physically based parameter for lightning prediction and its calibration in ensemble forecast. *Conf. on Meteor. Appl. of Lightning Data, Amer. Meteor. Soc.* Vol. 3496

Civil Aeronautics Board, 1965: PAN AMERICAN WORLD AIRWAYS, INC BOEING 707-121, N709PA NEAR ELKTON, MARYLAND DECEMBER 8, 1963, *Aircraft Accident Report*, File No. 1-0015 SA. 376.

de Haan, S., 2011: High-resolution wind and temperature observations from aircraft tracked by Mode-S air traffic control radar. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116, D10.

Hemink, J., W.R. Gough & T.H. Fahey, 2007: Prediction and occurrence of aircraft lightning encounters around Amsterdam Airport Schiphol. *KNMI Research Triennial Scientific Rep*, 2009, 96-100.

Hirvonen J., 2017: Muntlig källa. Vädertjänster för flyg och militär, Helsingfors, Meteorologiska institutet.

- ICAO, ANNEX 3, 2016: Annex 3 to the Convention on International Civil Aviation: Meteorological Service for International Air Navigation. Nineteenth Edition.
- ICAO, Unititing Aviation, 2018: Convention on International Civil Aviation. Doc 7300. <https://www.icao.int/publications/pages/doc7300.aspx> (Hämtad 01.03.2018).
- Kekälä, I., 2014: Ukkonen yllätti Finnairin - kaksi salamaniskua kahteen eri koneeseen. *Iltalehti*, [http://www.iltalehti.fi/uutiset/2014050118257742\\_uu.shtml](http://www.iltalehti.fi/uutiset/2014050118257742_uu.shtml) (Hämtad 19.01.2018).
- Kumjian, M.R., & W. Deierling, 2015: Analysis of thundersnow storms over northern Colorado. *Weather and Forecasting*, 30.6, 1469-1490.
- Korpela, P., 2017: Muntlig källa. Säkerhetsväderjour, Meteorologiska institutet
- Køltzow, M.Ø., 2016: Lynvarsling, Nytt Nasjonlat Varslingssystem, Mulgheter og Bergrensninger. *Solakonferansen, SUV*, Meteorologisk institutt.
- Lackmann, G., 2012: Midlatitude Synoptic Meteorology Dynamics, Analysis & Forecasting. *American Meteorology Society*, 131-165.
- Market, P.S., C.E. Halcomb, & R.L. Ebert, 2002: A climatology of thundersnow events over the contiguous United States. *Weather and forecasting*, 17.6, 1290-1295.
- Markowski, P. & Y. Richardson, 2010: Mesoscale Meteorology in Midlatitudes. *Royal Meteorological Society*, 93-102.
- Manninen, T., 2017: Ällistyttävä yhteensattuma: Laukaisiko Norwegianin kone jälleen salman Espoon taivaalla? Tuhoisa tulipalo vuosi sitten samassa paikassa. *Ilta-Sanomat*, <https://www.is.fi/kotimaa/art-2000005033019.html> (Hämtad 19.01.2018).
- Mäkelä, A., E. Saltikoff, J. Julkunen, I. Juga, E. Gregow & S. Niemelä, 2013: Cold-season thunderstorms in Finland and their effect on aviation safety. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 94.6, 847-858.



- NOAA, 2014: ESRL/GSD Aircraft Data (AMDAR) Information.  
<https://amdar.noaa.gov/FAQ.html> (Hämtad 03.01.2018).
- Punkka, A-J., 2009: Vaarallisen konvektion tuntomerkit, *Väderdagarna*.  
 Meteorologiska institutet.
- Rash, C.E., 2010: When lightning strikes. *AeroSafety world*, 5, 18-23.
- Saltikoff, E., A. Mäkelä & J. Nuottokari, 2016: Dualpol analysis of graupel as  
 indicator of cool season thunderstorms. *ERAD 2016* - Den nionde Europeiska  
 konferensen inom radar meteorologi. Antalya, Turkey, 8.5.
- Saltikoff, E., 2018: Muntlig källa. Specialforskare, Meteorologiska institutet.
- Santapakka, S-L., 2016: Salama iski kahteen laskeutuvaan Norwegian  
 koneeseen Helsinki-Vantaalla. *Ilta-Sanomat*,  
<https://www.is.fi/matkat/art-2000001164873.html> (Hämtad 19.01.2018).
- Schultz, D.M. & R.J. Vavrek, 2009: An overview of thundersnow. *Weather*, 64.10,  
 274-277.
- Skybrar, 2016: Lightning,  
[https://www.skybrary.aero/index.php/Lightning?utm\\_source=SKYbrary&utm\\_campaign=b3046bff20-559 Commercial Pressure 25 12 2017&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_e405169b04-b3046bff20-276531477](https://www.skybrary.aero/index.php/Lightning?utm_source=SKYbrary&utm_campaign=b3046bff20-559%20Commercial%20Pressure%2025%2012%202017&utm_medium=email&utm_term=0_e405169b04-b3046bff20-276531477) (Hämtad 15.02.2018).
- Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut, 2017: Kunskapbanken  
 Cumulonimbus - bymoln <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/cumulonimbus-bymoln-1.3862> (Hämtad 01.08.2017).
- Sweers, G., B. Birch & J. Gokcen, 2012: Lightning Strikes: Protection, Inspection  
 and Repair. *Aero Magazine*, 4, 19-28.
- Tuomi, T.J. & A. Mäkelä, 2009: Ukkosta ilmassa. *URSA*.

Wilkinson, J.M., H. Wells, P.R. Field och P. Agnew, 2013: Investigation and prediction of helicopter-triggered lightning over the North Sea. *Meteorological Applications*, 20.1, 94-106.

Ylläsjärvi, J., 2012: Syksy- ja talvisään ennustaminen, kertausta lentosäämeteorologeille. Meteorologiska institutet. Del 2, Vinter.

Ylläsjärvi, J., 2017: Muntlig källa. Vädertjänster för flyg och militär, Helsingfors, Meteorologiska institutet.

## TACK

Först och främst vill jag tacka min handledare Elena Saltikoff och mina kolleger Jarkko Hirvonen, Janne Ylläsjärvi och Timo Erkkilä för allt hjälp och stöd som de har gett för min avhandling. Jag vill också tacka resten av flygväderavdelningen för hjälp med större och mindre frågor som har dykt upp under mitt arbete med avhandlingen. Jag vill också tacka åskforskarna Antti Mäkelä och Terhi Laurila för all åskdata som de har samlat från Meteorologiska Institutets arkiv för min avhandling samt Sonja Murto från havstjänsten för all havsdata. Till sist vill jag också tacka Erik Gregow för stödet han gett.

## Bilagor

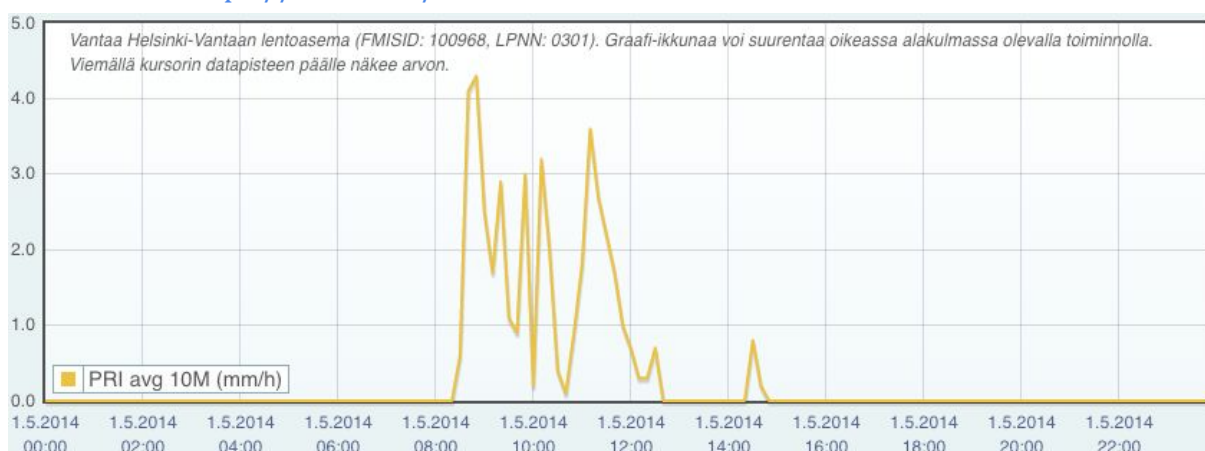


**Bilaga 1a:** Nederbördsintensitet från Helsingfors-Vanda flygfält den tredje januari 2017. Hämtad från <https://hav.fmi.fi/hav>.



**Bilaga 2a:** Nederbördsintensitet från Helsingfors-Vanda flygfält den 23 april 2016.

Hämtad från <https://hav.fmi.fi/hav>.



**Bilaga 3a:** Nederbördsintensitet från Helsingfors-Vanda flygfält den första maj 2014.

Hämtad från <https://hav.fmi.fi/hav>.

METAR EFHK 032220Z 09010KT 0800 R04R/1300D R15/P1500D R22L/P1500D  
R04L/1000VP1500D +SN VV005 M05/M06 Q0996 BECMG 1200 SN=

METAR EFHK 032250Z 07012KT 2500 -SN FEW006 SCT010 BKN014 M05/M06 Q0995  
TEMPO 3000=

**Bilaga 1b:** METAR-observationer från EFHK den tredje januari 2017 klockan 22:22 och 22:50 UTC. Hämtad från <http://avidb.fmi.fi>.

METAR EFHK 231020Z 01007KT 330V080 9999 -SHRA SCT025 BKN030CB 04/01  
Q1005 TEMPO 7000 SHRA=

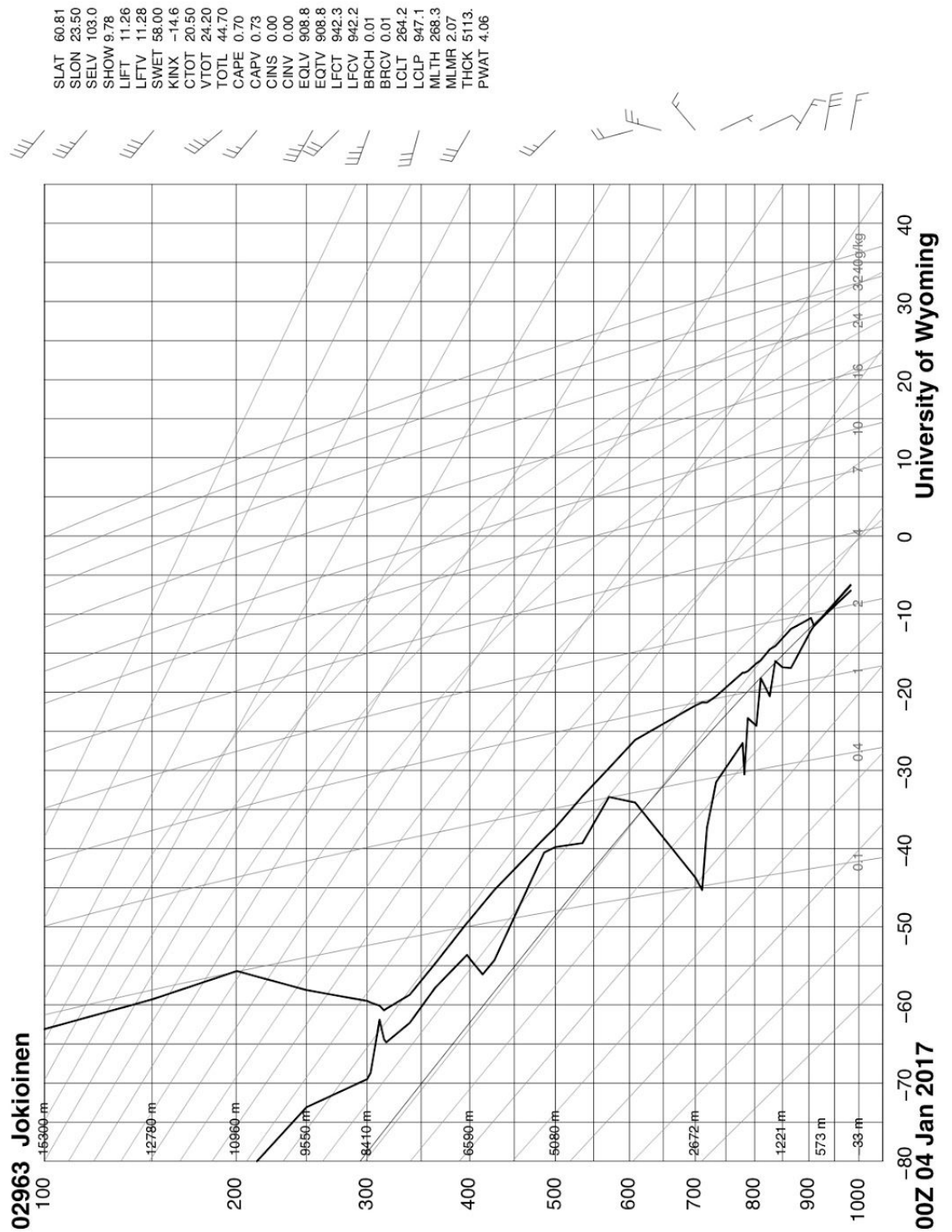
METAR EFHK 231050Z 07009KT 4000NE SHRASN BKN012 BKN030CB 03/01 Q1006  
BECMG 7000=

**Bilaga 2b:** METAR-observationer från EFHK den 23 april 2016 klockan 10:20 och 10:50 UTC. Hämtad från <http://avidb.fmi.fi>.

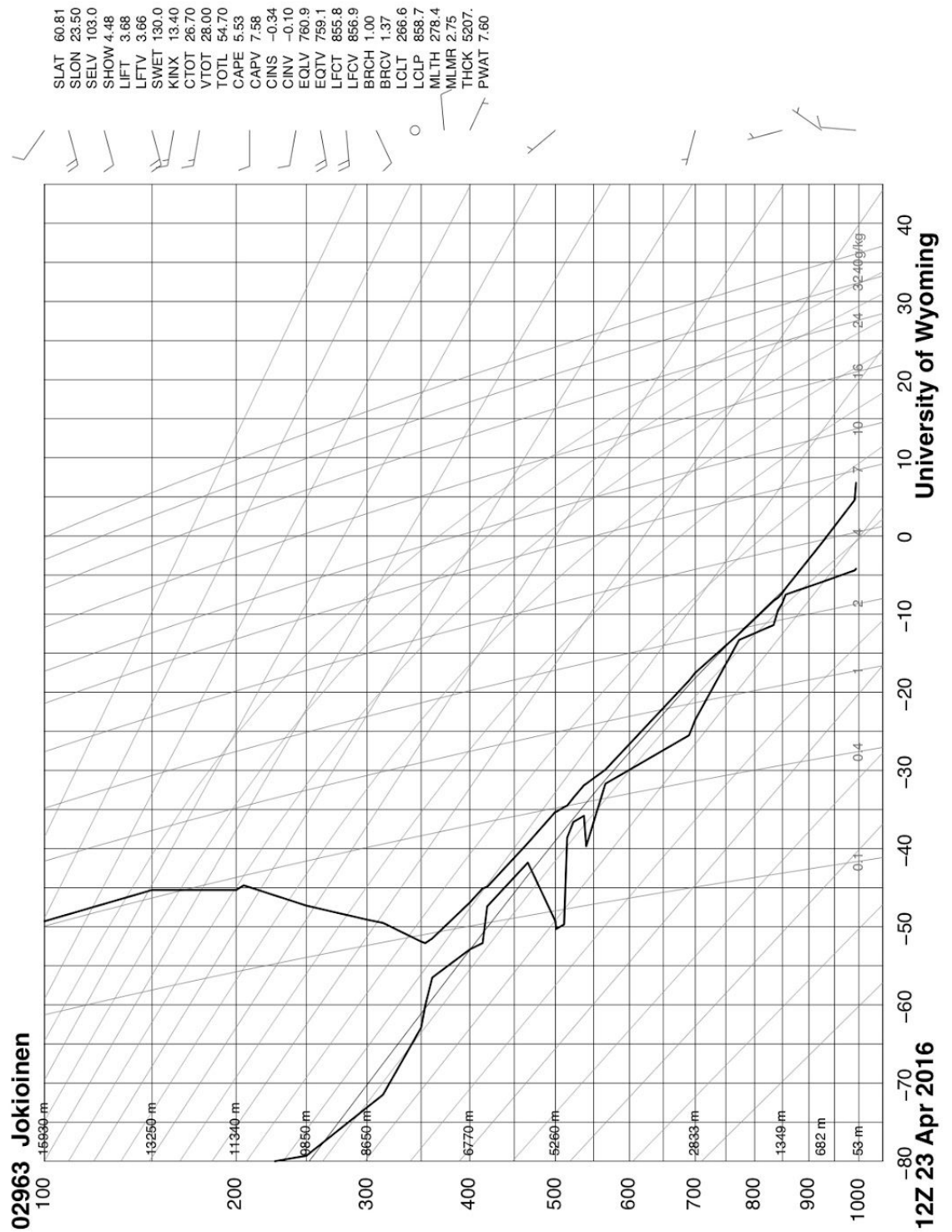
METAR EFHK 010820Z 02010KT 9999 -SHRA FEW020CB SCT045 BKN070 06/M00  
Q1003 TEMPO SHRA=

METAR EFHK 010850Z 04011KT 350V070 7000 TSRA FEW010 BKN025CB BKN070  
05/01 Q1003 BECMG 9999 NSW=

**Bilaga 3b:** METAR-observationer från EFHK den första maj 2014 klockan 08:20 och 08:50 UTC. Hämtad från <http://avidb.fmi.fi>.



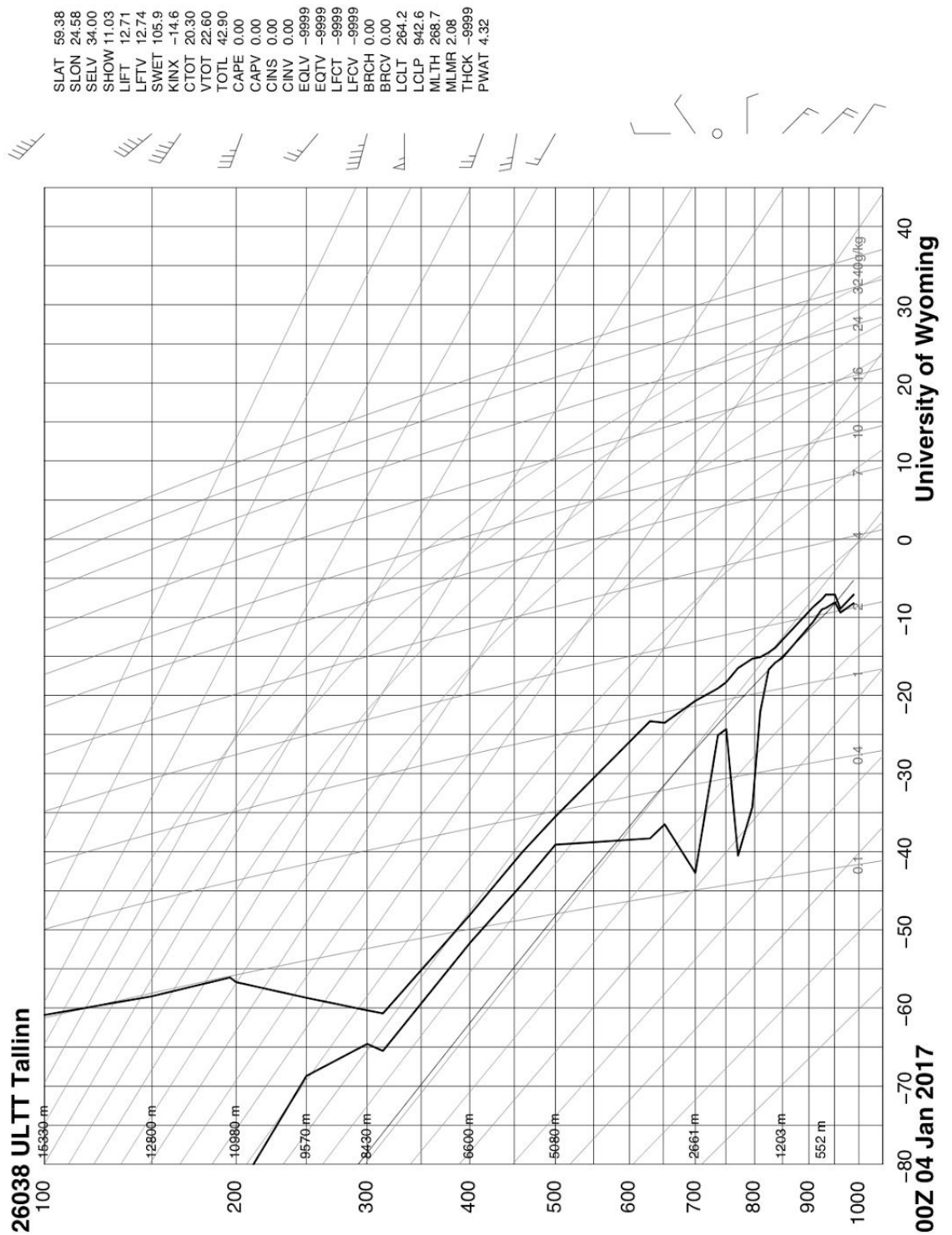
**Bilaga 1c:** Sondering från Jockis den fjärde januari 2017, klockan 00 UTC. Hämtad från: [www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html](http://www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html).



**Bilaga 2c:** Sondering från Jockis den 23 april 2016, klockan 12 UTC. Hämtad från: [www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html](http://www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html).

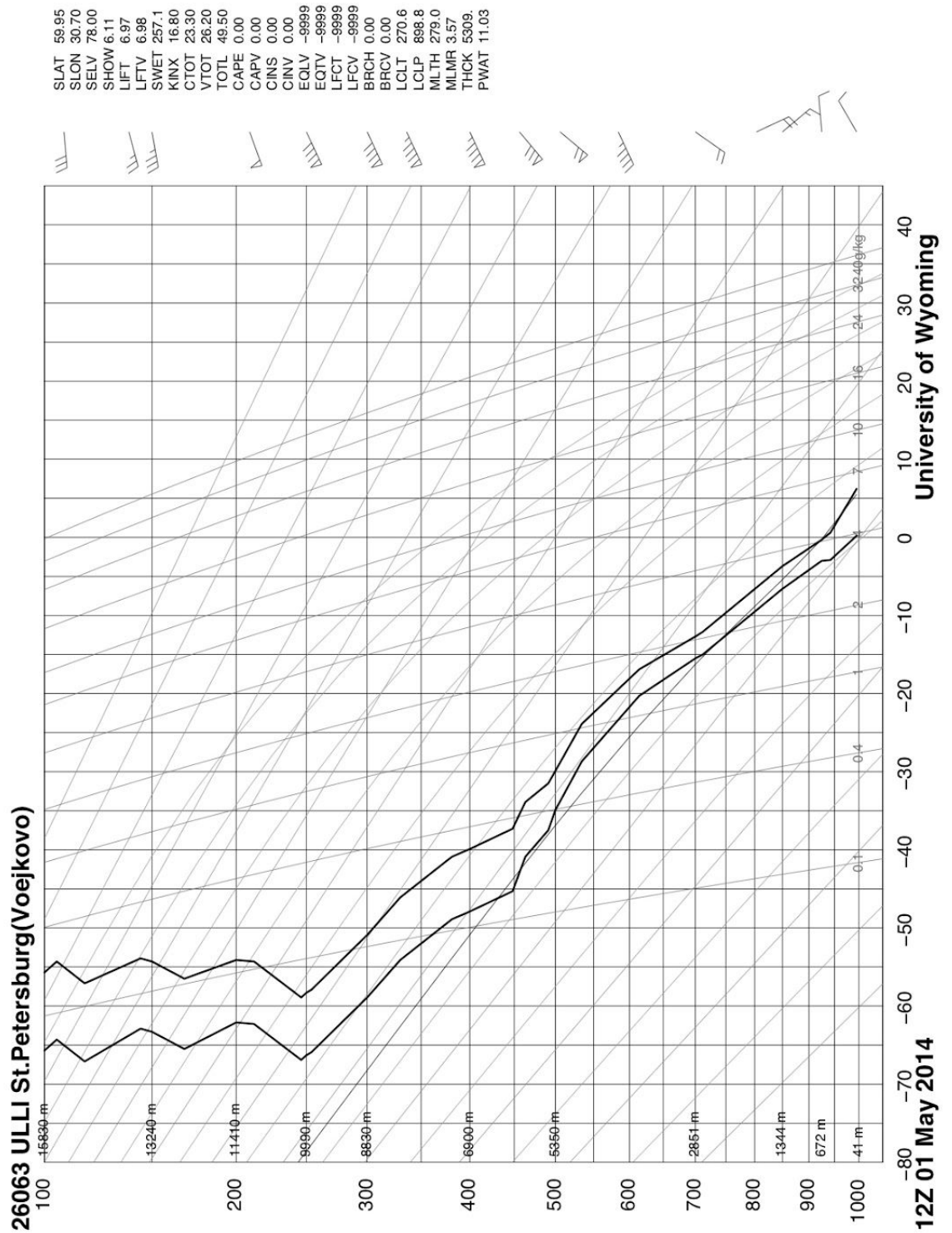




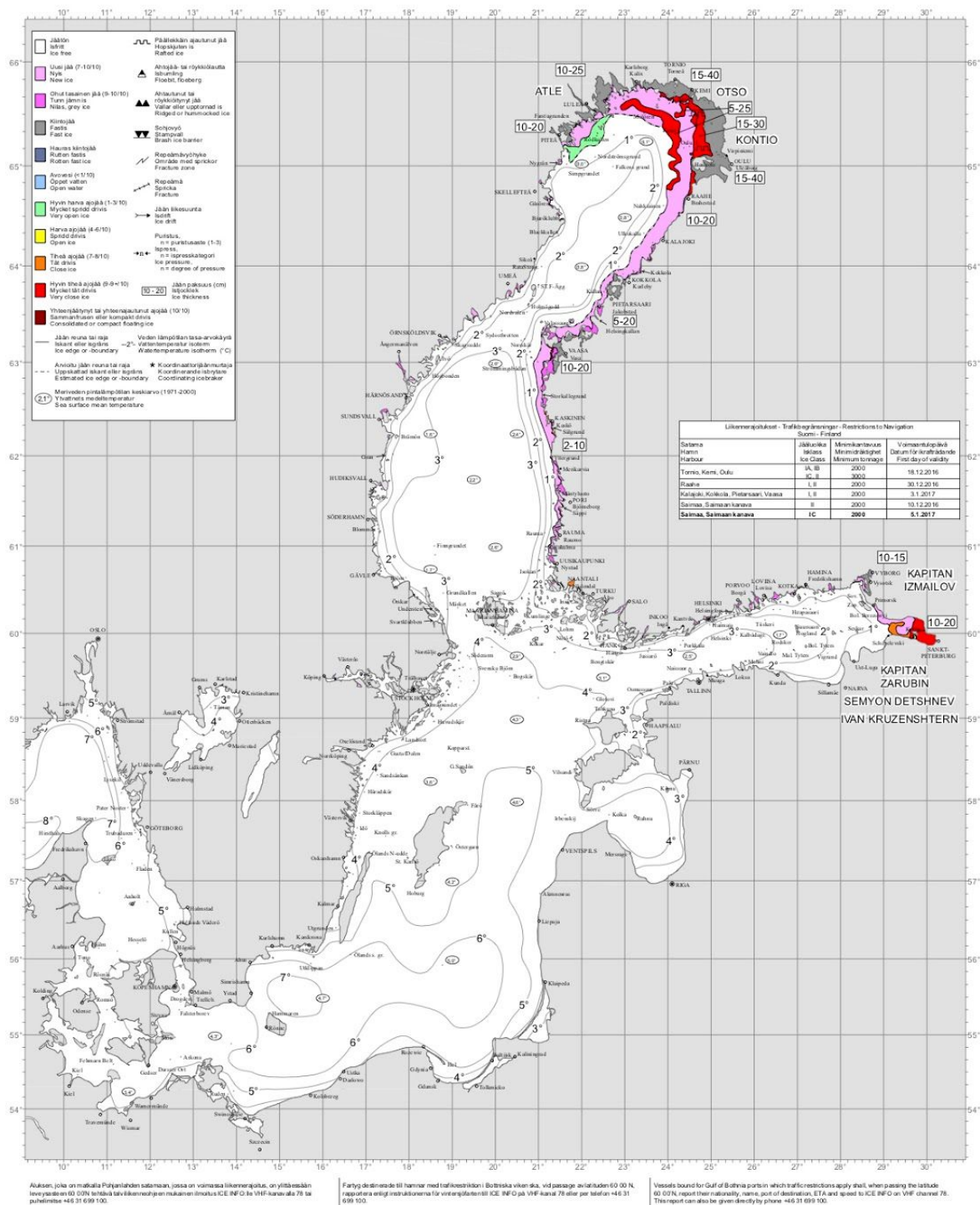


**Bilaga 1d:** Sondering från Tallinn den fjärde januari 2017, klockan 00 UTC. Hämtad från: [www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html](http://www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html).

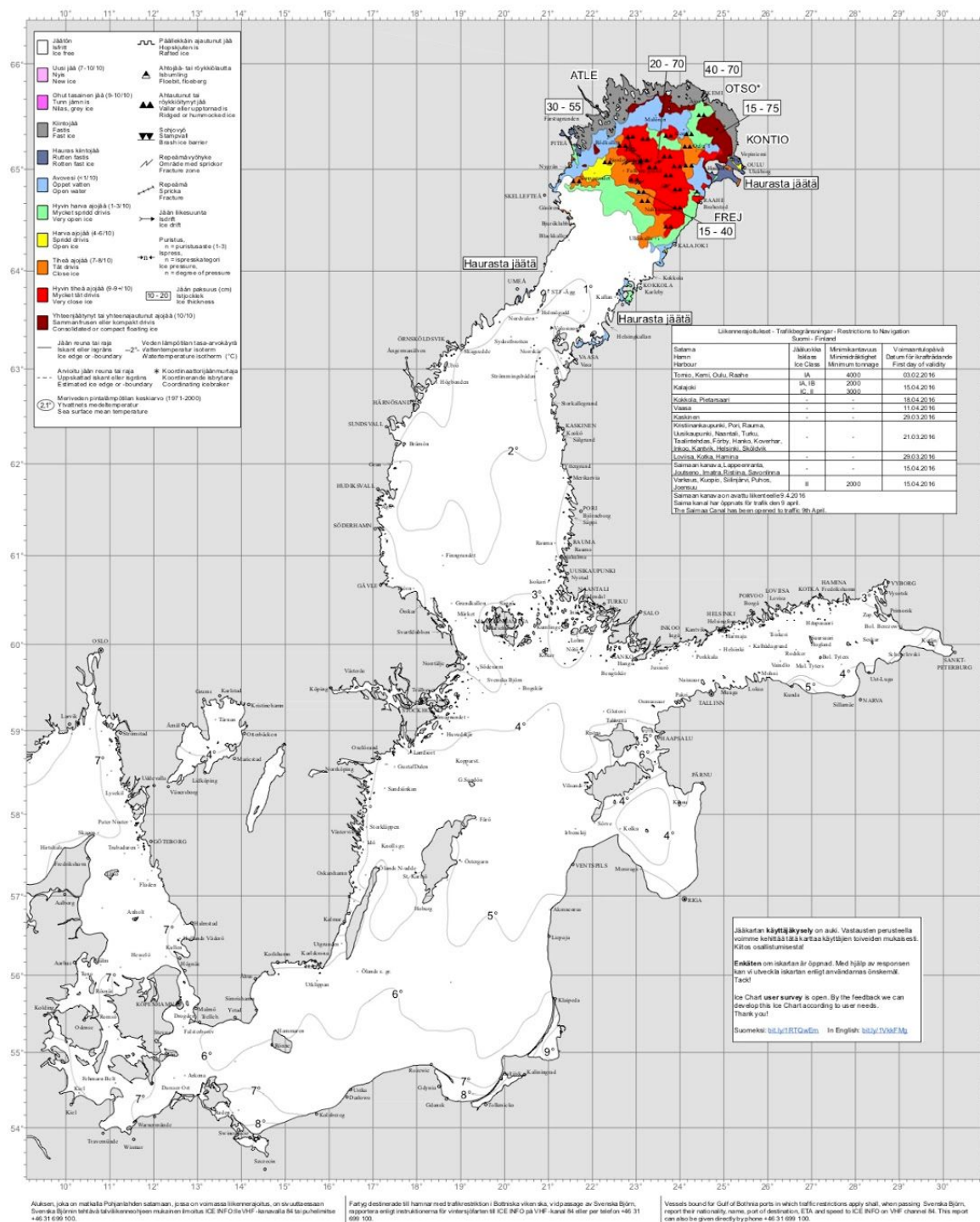




**Bilaga 3d:** Sondering från Sankt Petersburg den första maj 2014, klockan 12 UTC.  
 Hämtad från: [www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html](http://www.weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html).



**Bilaga 1e:** Iskarta över Östersjön den tredje januari 2017. Hämtad från Meteorologiska institutets egna arkiv.



**Bilaga 2e:** Iskarta över Östersjön den 23 april 2016. Hämtad från Meteorologiska institutets egna arkiv.



